

PROJEKT FACE: PROMATRANJE UTJECAJA OBOGAĆIVANJA ATMOSFERE S CO₂ U GUSTOM SKLOPU LISTOPADNE ŠUME

FACE PROJECT: MONITORING OF FREE-AIR CO₂ ENRICHMENT IMPACT IN
CLOSED CANOPY DECIDUIUS FOREST

Julije DOMAC*

*SAŽETAK: Moguće buduće globalne promjene mogle bi uključivati promjenu, odnosno povećanje koncentracije CO₂ u atmosferi te količinu raspoložive vlage u tlu. Šumske biljne zajednice redovito predstavljaju najvrednije dijelove kopnenih ekosustava, pa se u brojnim istraživačkim centrima, u za to podignutim pokusnim nasadima, provode eksperimenti koji uključuju promatranje upijanja i vezanja CO₂ u različitim vrstama drveća, te njihovu reakciju na različite (većinom povišene) koncentracije CO₂ u zraku. Ovakvi se eksperimenti provode širom svijeta, a u središtu su zanimanja fotosinteza, rast i primarna produkcija biljaka u posebnim uvjetima, bio-geo-kemijsko kruženje tvari te utjecaj CO₂ na sve navedene procese. Jedan od, po opsegu aktivnosti i promatranog područja, zanimljivijih pokusa provodi se u sklopu svjetski poznatog istraživačkog centra u SAD, Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Objekt FACE (free-air CO₂ exposure) uključuje četiri 25 metarska prstena, pomoću kojih se drveće izlaže emisiji CO₂ te dvije kontrolne parcele. Pokus se provodi u listopadnoj šumi u sklopu ORNL Istraživačkog parka. Promatrano stanište je monokultura gumijevca (*Liquidambar styraciflua*) posadena 1988. godine. U radu se opisuje ovaj imponozantan eksperiment te iznose preliminarni, dosad još neobjavljeni rezultati.*

Ključne riječi: CO₂, FACE, nasad gumijevca

1. UVOD – Introduction

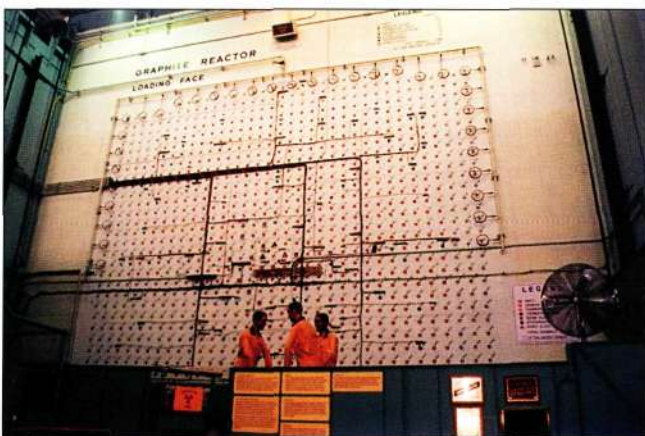
Na području globalnih promjena postoje činjenice koje su očite i već široko i potpuno prihvaćene, ali i tvrdnje koje nisu tako očite i koje tek treba dokazati. U slučaju atmosferskog CO₂, poznato je da se njegova koncentracija u atmosferi stalno povećava od početka industrijske revolucije. Ipak, koncentracija atmosferskog CO₂ manja je nego što bi se to moglo jednostavno izračunati, uzimajući u obzir industrijalizaciju, korištenje fosilnih goriva te smanjenje šumskih površina. Ostatak CO₂ apsorbira se u oceanima te kopnenim ekosustavima. Neka pitanja koja još uvijek nisu potpuno razjašnjena uključuju dio CO₂ koji se apsorbira u kopnenim ekosustavima, stupanj vezanja CO₂ u različitim

sustavima te utjecaj povećane koncentracije CO₂ na kopnene ekosustave. Budući da šumske biljne zajednice redovito predstavljaju najvrednije dijelove kopnenih ekosustava većina eksperimenata i pokusnih nasada, uključuje promatranje upijanja i vezanja CO₂ u različitim vrstama drveća, te njihovu reakciju na različite (većinom povišene) koncentracije CO₂ u zraku. Ovakvi se pokusi provode širom svijeta, a u središtu su zanimanja fotosinteza, rast i primarna produkcija biljaka u posebnim uvjetima, biogeokemijsko kruženje tvari te utjecaj CO₂ na sve navedene procese [1].

Jedan od, po opsegu aktivnosti i promatranog područja, zanimljivijih pokusa provodi se u sklopu svjetski poznatog istraživačkog centra u SAD, Oak Ridge National Laboratory (ORNL). ORNL je složeni pro-

* Julije Domac, dipl. ing., Energetski institut "Hrvoje Požar", Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb

gram znanstvenih i tehnoloških laboratorija kojim upravljaju Ministarstvo energetike SAD-a (U.S. Department of Energy) te tvrtka Lockheed Martin Energy Research Corporation. U ORNL znanstvenici i stručnjaci provode bazična i primijenjena istraživanja te razvijaju znanstvene spoznaje i tehnološka rješenja koja bi trebala povećati raspoloživost "čiste" energije, zaštititi okoliš te pridonijeti nacionalnoj sigurnosti i vodećoj ulozi SAD-a u ključnim znanstvenim područjima. U početku poznat kao Clinton Laboratories, ORNL je utemeljen 1943. za pokaznu proizvodnju i odjeljivanje plutonija u sklopu Manhattan projekta (slika 1.).

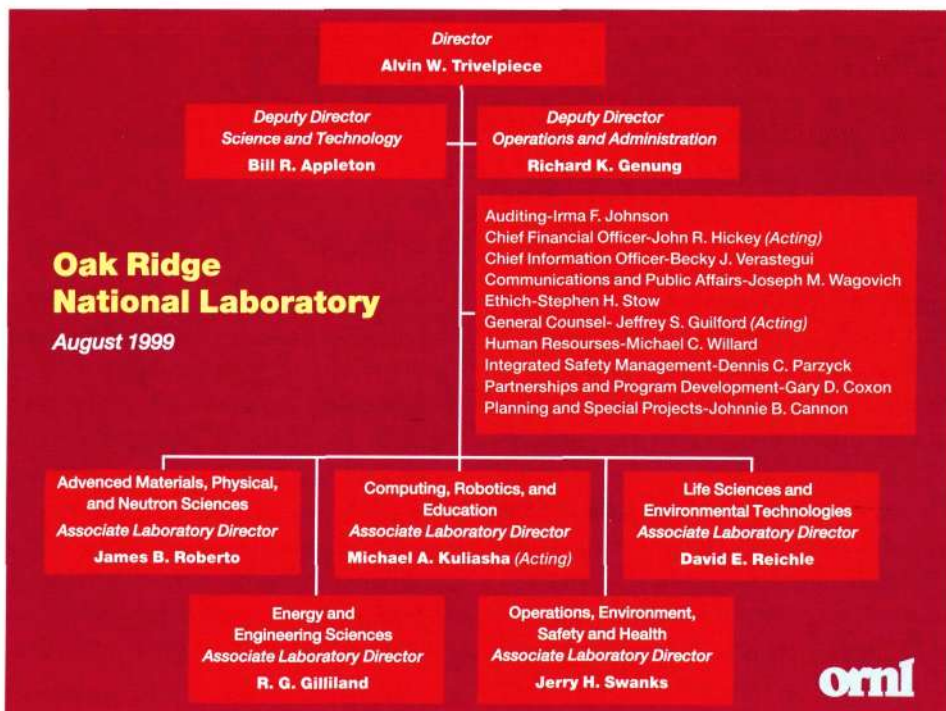


Slika 1. Najstariji grafitni reaktor na svijetu, danas muzej
Figure 1 The oldest world graphite reactor, today a museum

Od takvog početka, laboratorij je napredovao do jedinstvene ustanove koja se bavi gotovo svim važnim nacionalnim i globalnim pitanjima vezanim za energiju i zaštitu okoliša. Danas ORNL zapošljava oko 5000 ljudi od kojih su 1500 znanstvenici i inženjeri, a rad je organiziran u pet odjela (slika 2.). Godišnji proračun iznosi 583 milijuna dolara, od čega 80 % iznosi dotacija Ministarstva energetike SAD-a. Svake godine u ORNL boravi oko 4000 gostujućih istraživača od kojih jedna četvrtina dolazi izravno iz industrije. Istraživački kompleks koji se prostire na čak 150 km² posjećuje godišnje oko 30000 posjetitelja.

S obzirom da globalne promjene koncentracije atmosferskog CO₂ nesumnjivo imaju utjecaja i na šumske biljne zajednice u Hrvatskoj, spoznaje i rezultati ovakvih pokusa mogu biti korisni i poučni.

Većina podataka prikazanih u članku sakupljena je, a fotografije snimljene tijekom autorova boravka u ORNL kao sudionika IEA Bioenergy Task 25 (Greenhousegas balance of bioenergy systems) workshop-a u listopadu 1999. godine. Dodatne informacije dobivene su od voditelja projekta dr. Richarda Norby-a te dr. Gregga Marlana (Oak Ridge National Laboratory). Autor zahvaljuje doc. dr. sc. Davorinu Kajbi sa Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na značajnoj pomoći prilikom prevođenja stručnih izraza iz šumarstva.



Slika 2. Organizacijska struktura Oak Ridge National Laboratory
Figure 2 Oak Ridge National Laboratory organizational structure

2. PROJEKT FACE: OBOGAĆIVANJE ATMOSFERE S CO₂ U LISTOPADNOJ ŠUMI

2 Project Face: CO₂ enrichment of a deciduous forest

Objekt FACE uključuje četiri 25 metarska prstena pomoću kojih se drveće izlaže emisiji CO₂ te dvije kontrolne parcele postavljen je u listopadnoj šumi u sklopu ORNL Istraživačkog parka (slika 3. i 4.). Promatrana sastojina je monokultura gumijevca (*Liquidambar styraciflua*) posađena 1988. godine. Ovaj 15-metara visoki nasad bliskih krošanja s indeksom lisne površine između 4 i 5 je u fazi linearnog rasta i pruža mogućnost iscrpnog ispitivanja hipoteza koje se tiču ključnih osobitosti šumskog staništa i kako one mogu utjecati na reakciju na CO₂. Te osobitosti uključuju:

- gusti sklop listopadne šume, što ograničava rast kao izravnu reakciju na povišeni CO₂,
- punu zauzetost tla korijenskim sustavom, što ograničava kruženje hranjiva,
- veći raspon stabala u usporedbi s primjercima u pokusima u komorama s otvorenim krovom, što mijenja funkcionalne odnose u kruženju ugljika,
- duže vrijeme promatranja koje omogućava istraživanje obnavljanja šume i promjene koncentracije ugljika u tlu.



Slika 3. Objekt FACE
Figure 3 FACE facility



Slika 4. Detalj objekta FACE
Figure 4 FACE facility detail

Za ispitivanje niza međusobno povezanih hipoteza postavljeno je više zadataka koji se sastoje u:

- opisivanju nadzemnog rasta stabala i površine lista u odnosu na koncentraciju CO₂ te višegodišnje promjene ostalih čimbenika,
- određivanju veze između dinamike sastojina, fotosinteze, respiracije i kemije staničnih tkiva,
- ustanovljavanje značenja provodljivosti puči, vođenja graničnog sloja te vođenja krošnje kao čimbenika koji reguliraju reakciju transpiracije cijele biljke na povišeni CO₂,
- mjerenju reakcije disanja krošnje i pojedinih promatranih dijelova,

- kvantificiranju gustoće i protoka tvari kroz «fini» korijenski sustav,
- određivanju trajektorije reakcije na CO₂ u kemizmu listinca te početak dugoročnog mjerenja razgradnje otpadnih tvari,
- kvantificiranju ključnih komponenata kruženja dušika te njihov odgovor na povećanu koncentraciju CO₂,
- prepoznavanju izvora i dinamike organskih tvari u tlu i njihovog odgovora na povećanu koncentraciju CO₂,
- procjeni "proračuna" ugljika za nasad unutar jedne godine kako bi se odredio utjecaj povišenog CO₂ na neto produkciju promatranog ekosustava.

Nakon cijele godine prethodnog ispitivanja staništa i promatranja rasta stabala, postupak obogaćivanja zraka šumskog staništa s CO₂ (560 ppm) započeo je u travnju 1998.

Postrojenje u sklopu istraživačkog objekta uključuje računalom nadzirani sustav mjerenja i upravljanja, koji uzimajući u obzir smjer i brzinu vjetra, održava stalnom željenu koncentraciju CO₂ u zraku (slika 5). Za



Slika 5. Oprema za emisiju CO₂
Figure 5 CO₂ emission equipment



Slika 6. Sakupljanje lišća u promatranom nasadu
Figure 6 Collection of leaves in analysed stand

uključene brojne ustanove i institucije, kao na primjer Desert Research Institute, Texas Tech University, University of Illinois at Chicago, University of South Carolina, University of Toledo, Appalachian State Uni-

promatranje aktivnosti korijenskog sustava, istraživači koriste minijaturne video kamere zakopane u tlu, a detaljno se ispituju i svi ostali dijelovi promatranih stabala (slika 6.).

Glavno pitanje na koje se znanstvenici nadaju naći odgovor je kako će ograničeno raspoloživo svjetlo, hranjiva i voda u šumi utjecati na mogućnost da ta šuma "iskoristi" dodatni CO₂? Spoznaje iz ovog pokusa mogle bi biti značajne budući da nedavna istraživanja upućuju da neke vrste drveća, ali ne sve, mogu dobro uspijevati i čak napredovati u uvjetima globalnog zagrijavanja jer višak ugljika koji apsorbiraju nadoknađuje smanjenu raspoloživu količinu vode.

Voditelj projekta je dr. Richard J. Norby s Oak Ridge National Laboratory (slika 7.), a u projekt su još



Slika 7. Dr. Richard Norby sa sudionicima IEA Bioenergy workshop-a u rujnu 1999.
Figure 7 Dr Richard Norby with IEA Bioenergy workshop participants in September 1999

versity, University of Tennessee, Louisiana State University, Brookhaven National Laboratory te Argonne National Laboratory.

Godišnja raspoloživa sredstva za projekt su 2,2 milijuna USD, a stalno je zaposleno (ekvivalent punog radnog vremena) 4,3 znanstvenika te dva tehničara.

3. DOSADAŠNJI REZULTATI PROJEKTA – Project results so far

Projekt FACE provodi se tek godinu dana i njegovi rezultati do sada nisu u značajnijoj mjeri objavljeni te se mogu smatrati samo preliminarnima. Jedan od razloga za to je da je nasad uzgajan 10 godina u uvjetima prirodne koncentracije CO₂ te se reakcija na naglo povišenje razine CO₂ u zraku može znatno razlikovati od one u slučaju da se nasad oduvijek nalazio u takvim uvjetima. Ovdje se donosi samo skraćeni prikaz dijela nekih dosadašnjih rezultata, a posve je sigurno da će o rezultatima ovog pokusa, zbog njegova obima i značenja, biti još dosta govora.

Za vrijeme prvog vegetacijskog razdoblja pod CO₂ tretmanom, razina prirasta temeljnice (BAI od engl. Basal area increment) bila je 19 % viša nego u kontrolnom nasadu u prirodnom okolišu. Indeks lisne površine (LAI od engl. Leaf area index) nije se znatnije razlikovao među promatranim nasadima, ali se BAI po jedinici površine lista povećao za 26 % uslijed povišene razine CO₂ u zraku. Povišenje BAI nastupilo je unutar svih kategorija promatranoga drveća i ne može se pripisati razlikama između promatranih nasada, drukčijoj distribuciji veličine stabala ili razlikama u BAI prije početka pokusa [2].

Ovime, dakako, još nije odgovoreno na pitanje kako će se povećana koncentracija CO₂ odraziti na rast zrelih sastojina, ali ovi rezultati pokazuju da ni starije i veće

jedinke ne gube sposobnost reakcije i prilagodbe na povećanu razinu CO₂ u atmosferi.

Za utvrđivanje hidrološke reakcije šuma na povišenu razinu CO₂ pokrenuta su mjerenja provodljivosti puči te brzine kolanja drvnog soka. Izmjerena provodljivost puči bila je od 33 do 50 % niža pri povišenoj koncentraciji CO₂. Dnevna prosječna brzina kolanja biljnih tekućina bila je također smanjena za od 12 do 21 %, što se moglo lako pratiti prilikom uključivanja i isključivanja izvora CO₂.

Povećana površina lista pri povišenoj razini CO₂ umanjila bi ovaj učinak na razini cijelog stabla, iako takva razlika nije primijećena prilikom prve godine promatranja [3].

Za konačne odgovore te vrednovanje ovih te cijelog niza drugih učinaka, bit će potrebna konstantna mjerenja i višegodišnje analize.

Dodatne informacije mogu se dobiti izravno od voditelja projekta:

Dr. Richard J. Norby

Oak Ridge National Laboratory

Bldg. 1059, P.O. Box 2008

Oak Ridge, TN 37831-6422 USA, ili na sljedećim internet adresama:

<http://gcte.org/Activities/1113.html>

http://www.ornl.gov/ORNLReview/meas_tech/hardwood.htm

6. LITERATURA – References

- [1] Koch G. W. i Mooney H. A. (editors) (1996): Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems. Academic Press, San Diego, p. 443.
- [2] Norby R. J. (1999): Increased basal area increment of a closed canopy sweetgum stand in the first year of CO₂ enrichment. Ecological Society of

America Annual Meeting, Spokane, Washington.

- [3] Wullschlegel, S. D. and R. J. Norby (1999): Stomatal conductance and sap velocity for a closed-canopy sweetgum stand exposed to free-air CO₂ enrichment. Ecological Society of America Annual Meeting, Spokane, Washington.

SUMMARY: A free-air CO₂ exposure (FACE) facility, comprising four 25-m exposure rings and two ambient plots, was constructed in a deciduous forest on the Oak Ridge National Environmental Research Park with the objective to understand how the eastern deciduous forest will be affected by CO₂ enrichment of the atmosphere, and what the feedback are from the forest to the atmosphere. This goal will be approached by measuring the integrated response of an intact forest ecosystem, with a focus on stand-level mechanisms.

The study site is a sweetgum (Liquidambar styracifla) monoculture planted in 1988. This 15-m tall stand has a closed canopy with a leaf area index of 4-5,

a basal area of 34 m²/ha, and it is in a linear growth phase. It offers the opportunity for rigorous tests of hypotheses that address the essential features of a forest stand and how they could influence the responses to CO₂.

These features include:

- the closed canopy, which constrains growth responses;
- full occupancy of the soil by the root system, which constrains the nutrient cycle;
- the larger scale of the trees compared to saplings in open-top chambers, which changes the functional relationships of carbon cycling;
- and the longer time scale that can be addressed, permitting studies of forest regeneration and soil carbon changes.

Different tasks are organized around an interconnected set of hypotheses. The objectives of these tasks are:

- characterize aboveground tree growth and leaf area in relation to CO₂ concentration and interannual variation in other environmental factors;
- determine the relationships between stand dynamics, photosynthesis, respiration, and tissue chemistry;
- establish the importance of stomatal conductance, boundary layer conductance, and canopy conductance as factors regulating whole-plant transpiration response to elevated CO₂;
- measure stem respiration response in sweetgum to CO₂ and partition observed responses into growth and maintenance respiration;
- quantify fine root density and turnover;
- determine the trajectory of response to CO₂ in leaf litter chemistry, and begin long-term measurement of litter decomposition;
- quantify the critical components of the nitrogen cycle and their response to CO₂ enrichment;
- identify sources and dynamics of soil organic matter and their response to CO₂ enrichment;
- construct an intra-annual carbon budget for the stands to determine the impact of elevated CO₂ on net ecosystem production;
- use a mechanistic, process-based soil-plant ecosystem model to develop and refine hypotheses of ecosystem response to elevated CO₂.

The CO₂ enrichment treatment (560 ppm) began in April, 1998, after a full year of pre-treatment site characterization and tree growth monitoring. Although significant results has been already achieved, all described responses must be considered preliminary because the trees had been growing in ambient CO₂ for 10 years prior to the start of fumigation and their responses to the sudden increase in CO₂ are likely to be different from what would occur had they always been in high CO₂. This is why there are no results published so far.

Data presented in paper were collected and photos taken during authors visit ORNL in September 1999 as a participant of IEA Bioenergy International Workshop. Additional information were collected from Dr Richard Norby and Dr Gregg Marland (Oak Ridge National Laboratory).

For global changes like CO₂ increase and associate climate changes would affect Croatia as well as every other part of the world, it could be interesting to learn about current trends and recent experiments on that field.

Key words: CO₂, FACE facility, sweetgum stand