

## **TIME SERIES KONSENTRASI KARBON DIOKSIDA DI UDARA AMBIEN UNTUK MENENTUKAN PROPORSI LUASAN RUANG TERBUKA HIJAU**

*TIME SERIES OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE AMBIENT AIR TO  
DETERMINE GREEN SPACE AREA*

**Aisyah Ahmad**

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana  
E-mail: [aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id](mailto:aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id)

### **Abstrak**

Penelitian ini menyajikan penyelesaian suatu metode untuk menentukan luas ruang terbuka hijau melalui data deret waktu (*time series*) untuk konsentrasi karbon dioksida di udara ambien. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengkaji kemampuan vegetasi dalam mereduksi karbon dioksida udara ambien di ruang terbuka hijau di kawasan industri. Metode penilaian meliputi fraksi ruang terbuka hijau, dan variabel penggunaan lahan. Hasil utama dari penelitian ini adalah massa bersih karbon dioksida di udara ambien selama satu hari. Deret waktu per jam diterapkan untuk menentukan massa bersih karbon dioksida per volume udara, yang ditargetkan pada tingkat nol. Massa bersih karbon dioksida juga bergantung pada luas wilayah dengan ruang hijau, luas wilayah dengan bangunan, dan pengukuran ketinggian karbon dioksida di udara, yang dianggap sebagai parameter untuk menentukan area ruang terbuka hijau.

**Kata kunci:** *pengukuran massa, massa bersih nol, vegetasi, ketinggian ruang*

### **Abstract**

*This study presents the completion of a method for determining the area of green space through time series data for the concentration of carbon dioxide in ambient air. The main focus of this research is to examine the ability of vegetation to reduce ambient air carbon dioxide in green spaces in industrial areas. Assessment methods include the fraction of green space, and land use variables. The main result of this study is the net mass of carbon dioxide in ambient air over one day. An hourly time series is applied to determine the net mass of carbon dioxide per volume of air, targeted at zero. The net mass of carbon dioxide also depends on the area with green spaces, the area with buildings, and the measurement of the height of carbon dioxide in the air. All of that is considered as a parameter to determine the area of green space.*

**Keywords:** *mass assessment, zero net mass, vegetation, space height*

### **PENDAHULUAN**

Ruang terbuka hijau adalah ruang lahan untuk vegetasi, yang dalam perspektif lingkungan sangat penting khususnya untuk menyerap karbon dioksida. Konsentrasi karbon dioksida di bumi telah meningkat secara signifikan [1,2]. Sejumlah besar karbon dioksida dilepaskan dari daerah perkotaan, khususnya kawasan perindustrian. Hal ini diperkuat dengan hasil pengukuran fluks karbon dioksida di perkotaan yang positif [3-23]. Fluks positif berarti massa karbon dioksida berpindah dari wilayah tersebut ke udara ambien dan tidak ada pelemahan yang signifikan. Pengukuran fluks karbon dioksida di taman kota Essen, Jerman, telah dilakukan dan

ditemukan fluks negatif pada siang hari [15]. Fluks negatif berarti massa karbon dioksida berpindah dari udara sekitar ke area taman kota di siang hari. Pergerakan tersebut tidak lain adalah penyerapan karbon dioksida oleh vegetasi pada proses fotosintesis [24]. Oleh karena itu, pengukuran terpenting pada penelitian ini adalah area ruang terbuka hijau dapat menghasilkan fluks negatif, menghasilkan kesetimbangan fluks karbon dioksida selama 24 jam dan seterusnya.

Berikut adalah beberapa metode untuk penentuan area ruang terbuka hijau. Secara tidak langsung, sistem informasi geografis (SIG) dapat digunakan untuk mengevaluasi penghematan energi dan pengurangan limpasan air hujan

sebagai fungsi parsial dari area ruang hijau [25]. Secara langsung, tipologi ruang terbuka hijau didasarkan pada penggunaan masing-masing ruang dalam hal luasnya, ukuran daerah tangkapannya, sifat sumber daya, dan jenis fasilitas yang disediakan [26]. Area ruang terbuka hijau dapat ditentukan berdasarkan jumlah populasi [25]. Modifikasi “Indeks Hijau” dengan menggunakan penginderaan jauh diusulkan oleh Hofmann et al. [27]. Mengukur fluks karbon dioksida menggunakan prinsip korelasi Eddy, yang menggabungkan pengukuran konsentrasi karbon dioksida dengan kecepatan angin dan arah angin [28]. Namun, fluks karbon dioksida adalah jumlah perpindahan massa, bukan ukuran peningkatan atau pengurangan massa karbon dioksida di udara ambien.

Oleh karena itu, permasalahan penting yang harus diselesaikan adalah mencari luasan ruang terbuka hijau yang dapat mengurangi akumulasi karbon dioksida di udara ambien hingga level nol. Pada kondisi ini, jumlah emisi karbondioksida dari seluruh aktivitas permukaan bumi yang terakumulasi di udara ambien dapat diserap seluruhnya oleh ruang terbuka hijau. Akumulasi nol karbon dioksida di udara ambien harus dicapai sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan aktivitas kehidupan di permukaan bumi.

## METODE PENELITIAN

### Kriteria Penilaian

Hasil beberapa penelitian terpilih terkait pengukuran konsentrasi karbon dioksida di udara ambien dalam skala waktu jam selama 24 jam. Data pengukuran konsentrasi karbon dioksida pada Kota Oregon, USA [19] dan Kota Essen, Jerman [3]. Kedua kota tersebut diidentifikasi untuk sumber emisi karbon dioksida [1], vegetasi [24, 28-31] dan parameter meteorologi [2,6,12]. Untuk sumber emisi karbon dioksida meliputi proses pembakaran menggunakan bahan bakar fosil dan non fosil [1] serta sumber aktivitas manusia. Laju emisi karbon dioksida untuk berbagai sumber dinyatakan setara dengan 3,2 kg CO<sup>2</sup>/orang/hari [24].

Pada sumber respirasi tumbuhan selama 24 jam waktu siang hari, vegetasi melakukan proses fotosintesis, sehingga proses emisi karbon dioksida terjadi pada malam hari. Proses respirasi dan fotosintesis vegetasi dipengaruhi oleh sinar matahari, kadar air tanah, konsentrasi karbon dioksida sekitar, ketersediaan nutrisi, jenis dan umur vegetasi, zat beracun, suhu udara dan oksigen [24,31,32].

Selain itu, parameter meteorologi juga mempengaruhi perpindahan massa dan konsentrasi karbon dioksida di udara ambien. Faktor yang berpengaruh secara signifikan meliputi kecepatan angin, arah angin, suhu udara, tekanan udara, kelembaban dan energi matahari [2,6,12,19]. Oleh karena itu, aktivitas kehidupan dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi siklus waktu karbon dioksida.

### Akumulasi Massa Karbon Dioksida

Proses penghancuran karbon dioksida secara kimiawi di udara ambien bisa terjadi dalam jangka waktu 100-200 tahun, sehingga membuat gas terakumulasi di udara ambien [2]. Massa karbon dioksida di udara pada suatu waktu (m) adalah akumulasi karbon dioksida sebagai massa awal (m<sub>0</sub>) ditambah perubahan massa karbon dioksida (m) untuk periode (t) seperti yang disajikan pada persamaan berikut:

$$m_t = m_0 \pm m$$

Nilai m positif untuk proses emisi massa karbon dioksida, dan negatif untuk proses penyerapan karbon dioksida. Konsentrasi karbon dioksida di udara ambien pada waktu (t) ekuivalen dengan massa terakumulasi pada (m), untuk setiap volume udara ambien dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$C_t = m_t / V$$

Konsentrasi karbon dioksida berubah setiap waktu. Akumulasi massa karbon dioksida di udara ambien berubah setiap saat, disajikan dengan persamaan berikut:

$$C = f(t) \text{ atau } m / V = f(t)$$

### Tingkat Akumulasi Massa Karbon Dioksida Setiap Volume di Udara Ambien

Laju akumulasi massa karbon dioksida untuk setiap volume udara ambien (R) setara dengan perubahan massa karbon dioksida untuk satu periode sebagai berikut:

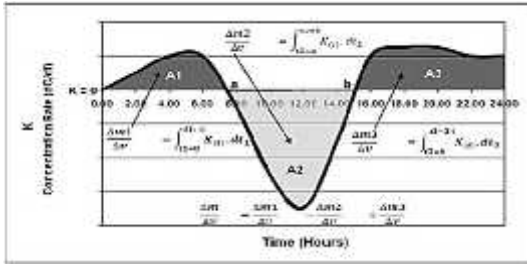
$$R = d(m / V) / dt = dC / dt$$

Nilai R positif, ketika konsentrasi karbon dioksida di udara ambien meningkat. Sedangkan nilai R negatif ketika konsentrasi karbon dioksida di udara ambien menurun.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Massa Bersih Karbon Dioksida Setiap Volume di Udara Ambien untuk Periode Satu Hari

Gambaran massa bersih karbon dioksida tiap volume di udara ambien untuk periode satu hari disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Laju Akumulasi Massa Karbon Dioksida Tiap Volume di Udara Ambien (R) untuk Periode Satu Hari

Massa bersih karbon dioksida per volume di udara ambien ( $m/V$ ) untuk periode satu hari ( $dt$ ) sama dengan luas antara kurva laju akumulasi massa karbon ( $R=f(t)$ ) dan garis kesetimbangan ( $R=0$ ) untuk periode satu hari ( $dt$ ). Luas antara kurva laju akumulasi massa karbon dioksida dan garis kesetimbangan dihasilkan dari integrasi antara kurva laju akumulasi massa karbon dioksida ( $R=f(t)$ ) dan garis kesetimbangan ( $R=0$ ) untuk periode satu hari ( $t$ ).

Titik batas integrasi adalah perpotongan antara kurva laju akumulasi massa karbon dioksida ( $R=f(t)$ ) dan garis kesetimbangan ( $R=0$ ). Titik perpotongan antara kurva laju akumulasi massa karbon dioksida dan garis kesetimbangan berada pada kesetimbangan ( $R=f(t)=0$ ).

Luas daerah di atas kurva kesetimbangan sama dengan penambahan massa karbon dioksida di udara ambien untuk periode satu hari. Luas daerah di bawah kurva kesetimbangan sama dengan pengurangan massa karbon dioksida di udara ambien untuk periode satu hari.

Massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien untuk periode satu hari ( $(m/V).dt$ ) adalah hasil dari peningkatan massa karbon dioksida di udara ambien untuk periode satu hari dan pengurangan massa karbon dioksida di udara ambien selama periode satu hari. Bertanda negatif, jika luas kurva di bawah titik ekuilibrium (A2) lebih besar daripada luas kurva di atas titik ekuilibrium (A1 + A3). Ini berarti pengurangan massa karbon dioksida di udara sekitar selama 24 jam. Kondisi sebaliknya adalah untuk nilai positif ( $(m/V).dt$ ). Di antara kedua kondisi tersebut dapat terjadi kesetimbangan emisi dan penyerapan karbon dioksida di udara ambien.

Periode dan skala waktu yang digunakan didasarkan pada waktu pengurangan massa karbondioksida oleh vegetasi di kawasan ruang hijau. Pengurangan massa karbon dioksida tergantung pada ketersediaan energi matahari. Siklus harian efek fenomena rotasi bumi

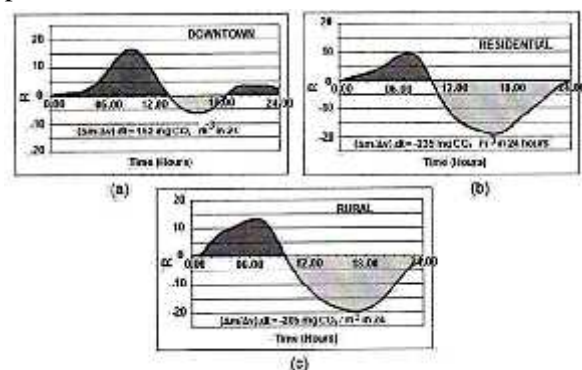
merupakan periode terpendek dari ketersediaan energi matahari. Siklus musiman pengaruh fenomena bumi mengelilingi matahari merupakan periode terlama ketersediaan energi surya [2,33]. Negara-negara di daerah tropis dapat menggunakan siklus harian sedangkan negara-negara non-tropis dapat menggunakan siklus musiman.

Selain itu, skala waktu juga mempertimbangkan dimensi ruang. Skala mikro untuk dimensi ruang sampai 2 km. Skala Mezo untuk dimensi ruang 2-2000 Km. Skala makro adalah untuk dimensi ruang di luar 2000 km. Skala waktu untuk skala mikro adalah jam atau menit. Skala waktu untuk skala mezo adalah hari. Skala waktu untuk skala makro adalah bulan [2,33].

Waktu tengah malam merupakan waktu mulai pengamatan konsentrasi karbon dioksida selama rentang waktu 24 jam dengan skala per jam [3,4,6,12,14,15,17,19]. Konsentrasi karbon dioksida pada tengah malam merupakan akumulasi massa karbon dioksida pada hari sebelumnya. Pada tengah malam massa karbon dioksida dianggap hanya dari sumber alami karbon dioksida. Pengaruh meteorologi sangat minim pada tengah malam, karena kondisi meteorologi stabil [2,33].

### Studi Kasus Kondisi Spasial

Terdapat beberapa pengamatan terhadap konsentrasi karbon dioksida selama 24 jam dalam kondisi spasial yang berbeda selama Juli-Desember 2009 untuk kota Oregon, USA. Kondisi spasial meliputi kawasan pusat kota, pemukiman dan pedesaan [19]. Berdasarkan prosedur yang ada kemudian ditentukan massa bersih karbon dioksida di udara ambien selama 24 jam (sub-bab 3.1.), data pengamatan disajikan pada Gambar 2.

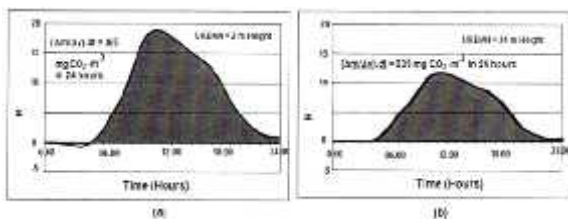


Gambar 2. Massa Bersih Karbon Dioksida Setiap Volume di Udara Ambien Selama 24 Jam di (A) Pusat Kota, (B) Daerah Perumahan dan (C) Daerah Pedesaan untuk Kota Oregon, AS (Transformasi Data dari Rice dan Bostrom [19])

Dari Gambar 2, massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam signifikan dengan vegetasi dan penggunaan lahan (pusat kota, perumahan, pedesaan). Di kawasan pusat kota dengan fraksi vegetasi minimal, massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam adalah positif, yaitu  $((m/V).dt) = 152 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$ , sehingga kawasan pusat kota mengumpulkan massa karbon dioksida di udara sekitar. Di daerah pemukiman dan pedesaan, massa bersih karbon dioksida menunjukkan nilai negatif, yaitu  $((m/V).dt) = -235 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$  dan  $-205 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$ . Pada daerah pedesaan mampu menyerap karbon dioksida pada siang hari untuk fotosintesis [15,24].

### Studi Kasus Aktivitas Sehari-Hari dan Pengukuran Tinggi Badan

Telah dilakukan pengamatan konsentrasi karbondioksida selama 24 jam dalam berbagai aktivitas sehari-hari selama Februari-Oktober 2010 untuk kota Essen, Jerman. Kegiatan sehari-hari meliputi hari kerja dan akhir pekan di kawasan perkotaan dengan area ruang hijau ditetapkan sebesar 5% kawasan perkotaan [3]. Berdasarkan prosedur yang ada kemudian ditentukan massa bersih karbon dioksida di udara ambien selama 24 jam (sub-bab 3.1.), data pengamatan disajikan pada Gambar 3.

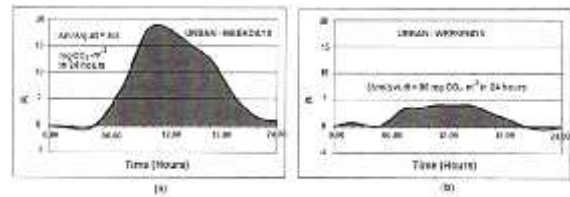


Gambar 3. Massa Bersih Karbon Dioksida Setiap Volume di Udara Ambien Selama 24 Jam dalam (A) Hari Kerja, (B) Akhir Pekan untuk Kota Essen, Jerman (Transformasi Data dari Bergeron dan Strachan [3])

Dari Gambar 3 selama hari kerja, massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam adalah positif, yaitu  $((m/V).dt) = 365 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$ . Hasil positif telah berkurang menjadi  $86 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$  selama akhir pekan, yang berarti akumulasi karbon dioksida lebih sedikit dibandingkan hari kerja, yang terutama disebabkan oleh aktivitas transportasi [6].

Selain itu, Bergeron dan Strachan [3] memberikan data pengamatan konsentrasi karbon dioksida, yang didasarkan pada pengukuran ketinggian 2m dan 34m di atas permukaan tanah. Berdasarkan prosedur yang ada kemudian

ditentukan massa bersih karbon dioksida di udara ambien selama 24 jam (sub-bab 3.1.), data pengamatan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Massa Bersih Karbon Dioksida Setiap Volume di Udara Ambien Selama 24 Jam pada Ketinggian yang Berbeda (A) Ketinggian 2m, (B) Ketinggian 34m di Atas Tanah untuk Kota Essen, Jerman (Transformasi Data dari Bergeron dan Strachan [3])

Dari Gambar 4, ketinggian pengukuran karbon dioksida di udara ambien mempengaruhi massa bersih karbon dioksida. Hasil positif  $((m/V).dt)$  selama 24 jam pada ketinggian 34m adalah  $239 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$ , lebih kecil dari pada ketinggian 2m ( $365 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$ ).

### Langkah-Langkah untuk Menentukan Area Greenspace

Metode regresi polinomial digunakan untuk mendapatkan persamaan perubahan konsentrasi  $(C=(t))$  dari data time series konsentrasi karbon dioksida [34]. Laju akumulasi massa karbon dioksida setiap volume di udara ambien  $(R=(t))$  diperoleh dari persamaan perubahan konsentrasi karbon dioksida  $(dC/dt)$  Massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama rentang waktu  $((m/V).dt)$  adalah resultan dari peningkatan massa karbon dioksida di udara ambien untuk jangka waktu tertentu  $(R=(t).dt)$  dengan pengurangan massa karbon dioksida di udara ambien untuk jangka waktu tertentu  $(-R=f(t).dt)$ . Peningkatan atau pengurangan massa karbondioksida di udara ambien selama periode waktu tertentu  $(R=(t).dt)$  merupakan hasil integrasi persamaan laju akumulasi massa karbondioksida tiap volume di udara ambien  $(R=f(t))$  untuk periode waktu  $(dt)$ .

Massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam  $((m/V).dt)$  secara signifikan dipengaruhi oleh karakteristik spasial kota [3,19], akhir pekan atau hari kerja [3] dan pengukuran ketinggian konsentrasi karbon dioksida [3]. Akhir pekan dan hari kerja berbeda signifikan dengan kondisi lalu lintas harian [6]. Oleh karena itu, massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam merupakan fungsi dari proporsi area ruang hijau (GS), proporsi permukiman (S), lalu

lintas harian (TR) dan pengukuran ketinggian, yang dapat ditransformasikan menjadi ketinggian ruang kota (H), hasilnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$((m/V).dt) = f(GS, S, TR, H) \dots (5)$$

dan untuk menentukan area *greenspace* adalah sebagai berikut:

$$GS = f(((m/V).dt), S, TR, H) \dots (6)$$

Persamaan (5) dan persamaan (6) dapat dibangun dari analisis data observasi dengan menggunakan metode *Structural Equation Modelling*, SEM [35]. Dari persamaan (6), sementara luas *greenspace* dapat ditentukan berdasarkan kondisi berikut:

- Proporsi maksimum kawasan permukiman sesuai dengan rencana tata ruang kota;
- Volume maksimum lalu lintas harian sepanjang tahun;
- Ketinggian ruang perkotaan berada di zona respirasi kehidupan manusia (sekitar 2m di atas tanah), atau 2m di atas tingkat topografi tertinggi sebuah kota;
- Pengaturan target untuk massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam  $((m/V).dt)$  adalah nol.

Penyajian massa bersih karbon dioksida dalam bentuk grafik akan memberikan informasi lebih jelas untuk menggambarkan kondisi ruang hijau. Berdasarkan persamaan (6), terlihat bahwa proporsi luasan ruang hijau tidak dapat digeneralisasikan untuk semua kota, sesuai dengan hasil luasan ruang hijau berdasarkan jumlah penduduk [24].

## KESIMPULAN

Data deret waktu per jam dari konsentrasi karbon dioksida dapat dianalisis untuk menentukan massa bersih karbon dioksida setiap volume di udara ambien selama 24 jam  $((m/V).dt)$ . Massa bersih karbon dioksida selain proporsi pemukiman (S), lalu lintas harian (TR) dan ketinggian ruang kota (H) digunakan untuk menentukan area ruang hijau (GS). Perumusan kawasan *greenspace* merupakan kondisi spesifik wilayah yang harus dilakukan pada masing-masing wilayah.

## DAFTAR PUSTAKA

1. IPCC, 2005. Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press.
2. Jacobson M.Z., 2005. Fundamental of Atmospheric Modelling. Cambridge University Press. 2 nd. Cambridge.
3. Bergeron O., Strachan I.B., 2011. CO2 sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city, *Atmospheric Environment* 45, 1564-1573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.12.043>.
4. Büns C., Kuttler W., 2012. Path-integrated measurements of carbon dioxide in the urban canopy layer, *Atmospheric Environment* 46, 237-247. <http://dx.doi.org/10.1016/atmosenv.2011.09.077>.
5. Christen A., Coops N.C, Crawford B.R., Kellett R., Liss K.N., Olchovski I., Tooke T.R., Van der Laan M., Voogt J.A, 2011. Validation of modeled carbon-dioxide emissions from an urban neighborhood with direct eddy-covariance measurements, *Atmospheric Environment* 45, 6057-6069. <http://dx.doi.org/10.1016/atmosenv.2011.07.040>.
6. Contini D., Donato A., Elefante C., Grasso F.M., 2012. Analysis of particles and carbon dioxide concentration and fluxes in an urban area: Correlation with traffic rate and local micrometeorology, *Atmospheric Environment* 46, 25-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.10.039>.
7. Coutts A.M., Beringer J., Tapper N.J, 2007. Characteristics influencing the variability of urban CO2 fluxes in Melbourne, Australia, *Atmospheric Environment* 41, 51-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.030>.
8. Gioli B., Toscano P., Lugato E., Matese A., Miglietta F., Zaldei A., Vaccari F.P., 2012. Methane and carbon dioxide fluxes and source partitioning in urban areas: The case study of Florence, Italy, *Environmental Pollution* 164, 125-131. <http://dx.doi.org/10.1016/envpol.2012.01.019>.
9. Grimmond C.S.B., King T.S., Cropley F.D., Nowak D.J., Souch C., 2002. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: methodological challenges and result from Chicago, *Environmental Pollution* 116, S243-S254. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00256-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00256-1).
10. Grimmond C.S.B., measurements at a densely built-up site in Marseille: heat, mass (water and carbon dioxide), and momentum.

- J. Geophys. Res. 109, 24101-24120. <http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004936>.
11. Helfter C., Famulari D., Philips G., Barlow J., Wood C., Grimmond C., Nemitz E., 2011. Controls of carbon dioxide concentrations and fluxes above central London Atmos. Chem. Phys., 11, 1913-1928. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-11-1913-2011>.
  12. Henninger S., Kuttler W., 2010, Near surface carbon dioxide within the urban area of Essen, Germany, Physics and Chemistry of the Earth 35, 76-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.006>.
  13. Matese A., B. Gioli, F.P. Vaccari, A. Zaldei, F. Miglietta, 2009. Carbon Dioxide Emissions of the City Center of Firenze, Italy: Measurement, Evaluation, and Source Partitioning. J. Appl. Meteor. Climatol, 48,1940-1947. <http://dx.doi.org/10.1175/2009JAMC1945.1>
  14. Moriwaki R., Kanda, M., 2006. Carbon dioxide build-up within a suburban canopy layer in winter night, Atmospheric Environment 40, 1394-1407. <http://dx.doi.org/10.1016/.atmosenv.2005.10.059>.
  15. Kordowski K., Kutter W., 2010. Carbon dioxide fluxes over an urban park area, Atmospheric Environment 44, 2722-2730. <http://dx.doi.org/10.1016/.atmosenv.2010.04.039>.
  16. Pawlak W., Fortuniak K., Siedlecki M., 2011. Carbon dioxide flux in the centre of L'od'z, Poland- analysis of a 2-year eddy covariance measurement data set, Int. J. Climatol. 31, 232-243. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2247>.
  17. Reid K.H., Steyn D.G., 2005. Diurnal variations of boundary layer carbon dioxide in coastal city observation and comparison with model results, atmospheric Environment, 39(11), 2035-2047
  18. Ramamurthy P., Pardyjak E.R., 2011. Toward understanding the behavior of carbon dioxide and surface energy fluxes in the urbanized semi-arid salt lake valley, Utah USA, Atmospheric Environment, 45, 73-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.049>.
  19. Rice A., Bostrom G., 2011. Measurements of carbon dioxide in an Oregon metropolitan region, Atmospheric Environment 45, 1138-1144. <http://dx.doi.org/10.1016/.atmosenv.2010.11.026>.
  20. Song T., Wang Y., Carbon dioxide fluxes from an urban area in Beijing, Atmospheric Research 106 (2012) 139-149. <http://dx.doi.org/10.1016/.atmosres.2011.12.001>.
  21. Velasco E., Pressley S., Allwine E., Westberg H., Lamb B., 2005. Measurements of CO2 fluxes from the Mexico City urban landscape - Atmospheric Environment 39, 7433-7446. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.08.038>.
  22. Vesala T., Jarvi L., Launiainen S., Sogachev A., Rannik U., Mammarella I., Siivola E., Keronen P., Rinne J., Riikonen A., Nikinmaa E., 2008. Surface-atmosphere interactions over complex urban terrain in Helsinki, Finland, Chemical and Physical Meteorology 60B, 188-199.
  23. Vogt R., Christen A., Rotach M.W., Roth M., Satyanarayana A.N.V., 2006. Temporal dynamics of CO2 fluxes and profiles over a Central Europeancity.
  24. Samudro G., Mangkoedihardjo S., 2006. Water Equivalent Method for City Phytostructure of Indonesia, Int. J. Environ. Sci. Tech., 3 (3), 261-267.
  25. Dwyer M.C., R.W. Miller, 1999. Using GIS To Assess Urban Tree Canopy Benefits And Surrounding Greenspace Distributions. Journal of Arboriculture25(2): 102-107.
  26. Dunnett N., C. Swanwick, H. Woolley, 2002. Improving Urban Parks, Play Areas and Greenspaces Department of Landscape, University of Sheffield, Department for Transport, Local Government and the Regions: London, ISBN 1851125760, p 214.
  27. Hofmann P., J. Strobl, A. Nazarkulova, 2011. Mapping Greenspaces in Bishkek-- How Reliable can Spatial Analysis Be? Remote Sensing, 3:1088-1103. <http://dx.doi.org/10.3390/rs3061088>.
  28. Werner C., Wyngaard J.C., Brantley S.L, 2000, Eddy-Correlation measurement of hydrothermal gases, Geophysical Research letters 27(18), 2925-2928.
  29. Crawford B., Grimmond C., Christen A., 2011. Five years of carbon dioxide fluxes measurements in a highly vegetated suburban area. Atmos. Environ. 45, 896-905.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.017>.
30. Desai A.R., Noorments A., Boolstad P.V., Chen J., Cook B.D., Davis KJ., Euskirchen E.S., Gough C., Martin J.G., Ricciuto D.M., Smidht H.P., Tang J., Wang W., 2008. Influence of Vegetation and Seasonal forcing on carbon dioxide fluxes across the upper Midwest USA : Implication for regional scaling, *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 288-308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.08.001>.
  31. Salisbury F.B, Ross C.W., 1992. *Plant Physiology*, Wadsworth Publishing Co.
  32. Lange O.L, 2002. Photosynthetic productivity of the epilithic lichen *Lecanora muralis*: Long-terms, field monitoring of CO<sub>2</sub> exchange and its physiological interpretation, *Flora* 197, 233-249. <http://dx.doi.org/10.1078/0367-2530-00038>.
  33. Godish T., 1997. *Air Quality*, Lewis Publishers, New York, 3ed.
  34. Chapra S.C, Canale R.P., 2002. *Numerical Methods for Engineers: with software and Programming Application*, McGraw-Hill, Boston.
  35. Fontanella L., Ippoliti L., Valentini P., 2007. Environmental analysis by dynamic structural equation models "Environmetrics 8 Issues 3, 265-283.