

## LÉGMINŐSÉG HOSSZÚ TÁVÚ MÉRÉSE KÜLÖNBÖZŐ SZENZOROKKAL

**L. Kiss Márton** 

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [l.kiss.marton@uni-miskolc.hu](mailto:l.kiss.marton@uni-miskolc.hu)

**Pintér Judit Mária** 

tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [pinterjm@uni-miskolc.hu](mailto:pinterjm@uni-miskolc.hu)

**Veres Laura** 

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Matematika Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [matlaura@uni-miskolc.hu](mailto:matlaura@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

Napjainkban egyre fontosabbá válik városaink levegőjének minősége, amelyet a fűtés, a közlekedés és az iparosodás is befolyásol. Magyarországon a nemzeti levegőminőség-mérési rendszer, amely hitelesített laboratóriumi műszereket alkalmazásával –köztük részecskeérzékelővel is - méri a levegő minőségét. Ezek a műszerek költségesek, és nem rendelkezünk elegendő mérőállomással a nagy felbontású mérésekhez. Ha több mérési pont és adat állna rendelkezésre, akkor egyértelmű tájékoztatást tudnánk nyújtani a nyilvánosságnak a levegő minőségről egy online anomáliatérképen keresztül. Napjainkban egyre több olcsó részecskeérzékelő válik hozzáférhetővé a piacon. Teszteltünk néhány különböző típusú részecskeérzékelőt, amelyek közül a PMS7003-at találtuk a legalkalmasabbnak, hiszen korrelációban képes mérni a hitelesített műszerekkel, de nem volt információnk arról, hogy hogyan működik a hosszú távú szabadtéri mérések során. Kifejlesztettünk egy kis mérőállomást és egy hitelesített műszer mellé telepítettük, így már több mint egyévnnyi mérési adat áll rendelkezésünkre. Ebben a cikkben szeretnénk bemutatni a mérési adatok összehasonlítását a pontos műszerrel mért adatokkal.

**Kulcsszavak:** levegőminőség, PMS7003, szálló por, mérés, jelfeldolgozás

### **Abstract**

Nowadays, the air quality of our cities is becoming increasingly important, which is affected by heating, traffic, and the industry. In Hungary, we have the national air quality measurement system which contains certified laboratory instruments which also contain particulate matter sensor. These instruments are very expensive, and we don't have enough measurement stations for the high-resolution measurement. If we were able to measure at several measurement points, we could provide clear information to the public about air quality through an online anomaly map. Nowadays's more and more low-cost particle sensors are coming to the market. We tested some different kind of particulate matter sensor and we chose the PMS7003, which can measure in correlation with the certified instruments, but we didn't have information how this is working during the long-term outdoor measurement. We developed a small measurement station and installed it near a certified instrument and

*now more than one year of measurement data are available. In this article we would like to show you the measured data and we made a comparison between the accurate instrument data.*

**Keywords:** air quality, PMS7003, particulate matter, measurement, signal processing

## 1. Bevezetés

Az iparosodás magas foka, az autók elterjedése, és a rossz minőségű tüzelőanyagok a levegőszennyezés növekedéséhez vezettek a nagyvárosokban, emiatt a levegő szennyezettségének mérése, különösen a PM10 és PM2,5 adatok mérése a városokban napjainkra egyre fontosabbá vált. A PM10 a 10  $\mu\text{m}$  alatti részecskék koncentrációja, a PM2,5 pedig a PM 2,5  $\mu\text{m}$ -nél kisebb részecskék koncentrációja. Az illetékes környezetvédelmi szervezet végzi ezeket a méréseket az egyes országokban, amely a Nemzeti Légszennyezettségi Megfigyelő Hálózatnak felel meg Magyarországon (National Air Pollution Monitoring Network in Hungary). A nemzeti ellenőrző hálózatnak több laboratóriumi műszerekkel felszerelt terepi mérőhelye van. Ezek a műszerek a légszennyező anyagokat  $\beta$ -abszorpciós és tömegmérésen alapuló szenzorokkal mérik, amelyek szigorú felülvizsgálaton esnek át. Ezen műszereket félévente kalibrációs eljárásnak vetik alá, amely a magas költségért cserébe hiteles adatok szolgáltatására teszi képessé a műszereket.

Sajnos nem áll rendelkezésre elegendő számú állomás Magyarországon ahhoz, hogy anomáliatérképet készítsünk az adatokból, mint ahogyan a legtöbb országban lehetséges, ugyanis a fenti szervezetek nem rendelkeznek elegendő forrással ahhoz, hogy nagy mennyiséget vásároljanak laboratóriumi minőségű mérésekre alkalmas műszerekből.

Az elmúlt években azonban számos új, alacsony költségű, optikai elven alapuló érzékelő (Plantower PMS7003) jelent meg, ami új mérési módszerek megjelenésével paradigmaváltásra enged következtetni ezen a területen. Sajnos a pontosságukat befolyásolja a környezeti levegő adottságai is. Ezeknek az érzékelőknek az elterjedése egy új kutatási terület kialakulásához vezetett, amely az érzékelők pontosságának és kalibrálásának javítása összpontosít. Számos cikk jelent meg az olcsó érzékelőket összehasonlító anyagokról, amelyek a részecske koncentrációt mérik (Bai et al., 2020). A legtöbb publikáció arra a következtetésre jutott, hogy ezek az érzékelők alkalmasak a kültéri élő mérésekhez, és hogy ezek az érzékelők kevésbé alkalmasak mobil alkalmazásra (Genikomsakis et al., 2018). A hitelesített referenciamérőt rendszerint az érzékelők pontosságának meghatározására használják (Hojaiji et al., 2017; Caya et al., 2017). Számos publikációt olvastam, amelyek az érzékelők páratartalomkalibrálásával foglalkoznak. E kiadványok némelyike páratartalom-kalibrálást végez hitelesített érzékelőkhöz, míg mások pontos korrelációkat adnak meg az egyes anyagok páratartalom okozta megnagyobbsodására.

A bemutatott összefüggések segítségével kiküszöbölhető ez a mérési hiba. Szakirodalmi áttekintés során több olyan cikket is találtunk, amelyek hasonló, olcsó, kompakt érzékelőkre épülő, használatra kész megoldásokat, eszközöket mutattak be (Báthory et al., 2022). Eredményeimet összefoglalva elmondható, hogy ezen érzékelők kalibrálása releváns kutatási terület, amelyet jelenleg nagyon aktívan tanulmányoznak. Célunk egy olyan mérési módszer kidolgozása, amellyel a méréseket validált mérőállomásokkal korrelálhatjuk. Ez lehetővé teszi az érzékelők nagyobb sűrűségű telepítését az egész országban. Az IQAir 2020 adatai szerint Magyarország a világ 65. legszennyezettebb országa, Európában a 17., Budapest pedig az 59. a fővárosi rangsorban. Magyarország legszennyezettebb városai évek óta Sajószentpéter, Miskolc, Kazincbarcika, Nyíregyháza és Dunaújváros városok, így egyre fontosabb a szálló por koncentrációjának mérése ezekben a városokban, különös tekintettel a PM10 és a PM2,5-re.

Ezek az adatok is alátámasztják az érzékelők szükségességét, különösen az erősen szennyezett területeken. Kutatócsoportunk a Miskolci Egyetemen a fent említett olcsó részecskekonzentráció-érzékelőket vizsgálja. Korábban számos, a piacon elérhető érzékelőt megvizsgáltunk, és arra a következtetésre jutottunk, hogy a Plantower PM7003 érzékelőre támaszkodunk kültéri részecskefigyelő rendszerünk kiépítése során. Az érzékelők összehasonlításakor nem volt lehetőségünk hosszán tartó kültéri mérések végzésére, ezért első lépésként kültéri mérésre alkalmas szenzormodult építettünk. A megépített szenzormodult egy évre egy minősített mérőállomás mellé szereltünk. A publikáció az érzékelő modul felépítését és az általa mért paramétereket mutatja be részletesen. Az érzékelő modul helyileg, szöveges fájlba menti az adatokat. Ennek a mérésnek az eredményeit mutatjuk be a szenzoradatokról generált statisztikákon keresztül.

## 2. A szenzor struktúrája



1. ábra. Szenzor

A fejezet leírja az 1. ábrán látható érzékelő modul felépítését és telepítését az egyéves mérési időszak során. A rendszer kiépítésénél két fő szempontot vettünk figyelembe. Egyrészt az eszköznek képesnek kell lennie az adatok helyben történő tárolására oly módon, hogy az elmentett adatokat alkalmanként le tudja kérni, másrészt megfelelő interfésszel kell rendelkeznie a szenzoradatok fogadásához. Az érzékelő modul két Plantower PMS7003 érzékelőt tartalmazott, egy HT11 és egy BME280 érzékelőt. Ezekkel az érzékelőkkel kapcsolatos korábbi tapasztalataink alapján megállapítottuk, hogy két UART, egy I2C és egy One Wire interfészre lesz szükségünk az adatok tárolására a használt eszközön. A fenti interfész-követelmény nem szűkítette le a használható adattároló eszközök számát, ezért a rendelkezésünkre álló és a feladatra megfelelőnek ítélt eszközt használtuk. Ez egy Raspberry Pi Zero W mini bankkártya méretű számítógép volt. Ennek nagy előnye, hogy WiFi hozzáférési pontként tud működni, és ha a helyszínen karbantartjuk az érzékelőt, akkor csatlakozhatunk hozzá és ellenőrizhetjük a szenzorok állapotát. Az UART interfész hiánya miatt azonban problémába ütköztünk. Hosszas keresgélés után sikerült találnunk egy szoftveres UART-t megvalósító Python könyvtárat. Egy másik szempont az volt, hogy könnyen telepíthető legyen, és mivel a helyszínen csak 12 V állt rendelkezésre, tartalmaznia kellett egy plusz áramkört az érzékelőmodul számára. Ehhez egy olyan bővítőkárt tervezünk, amely a Raspberry Pi Zero két soros tűskés csatlakozójához csatlakoztatható, és stabil tápellátást biztosít a Raspberry Pi számára, valamint a Grove csatlakozón keresztül érzékelőket és szenzorokat lehet csatlakoztatni hozzá. Az 1. ábrán az érzékelőegység és a vezérlőkártya prototípusa látható, ame-

lyet mi terveztünk. Amint a képen látható, az érzékelőket egy U alakú PVC-csőben helyeztük el, hogy megvédjük őket az esőtől és más kültéri elemektől. Az összes nyomtatott áramkört több rétegben gyártották, hogy ha kondenzációnak vannak kitéve, a nedvesség ne tudjon rövidzárlatot okozni és tönkretenni az érzékelőmodult. Az érzékelőegység szoftvere Node-Red nyelven, egy nagyon egyszerű webes programozási nyelven került kifejlesztésre. Ennek nagy előnye az volt, hogy a fejlesztést végző IDE egy böngészőben fut, és könnyen használható vizualizációs megoldásokat biztosít. Továbbá, egy fájlrendszer áll rendelkezésre az alapvető fájlirási műveletekhez, amely fontos volt számunkra.

### 3. Az adatok utófeldolgozása

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül az adatok utófeldolgozási módszertana. Erre azért volt szükség, mert két különböző adathalmazunk volt, amelyeket össze kellett hasonlítani. Az első kihívás az volt, hogy a rendelkezésre álló adatokból olyan adathalmazt építsünk fel, amely elemezhető, és amely tartalmazza az OLM által mért adatsorokat és az általunk telepített érzékelőt. A rendelkezésre álló adatok az általunk mért levegőparaméterek, valamint az OLM. Először ismertetjük az elmentett adatokat. Ezeket az adatokat szöveges formátumban adtuk meg. A különböző fájlok legfeljebb egy nap adatait tartalmazzák, de az is előfordulhat, hogy egy nap adatai öt-nyolc fájlból tevődnek össze. A mérési gyakoriság hat másodperc, ha minden érzékelő sikeresen kiolvasásra került, így percenként legfeljebb 10 adatot kapunk, de ez lehet akár egy vagy két adat is percenként. Az 1. táblázat szemlélteti az adatokat és az adatokhoz tartozó mértékegységeket.

1. táblázat. OLM által mért adatok

Megnevezés	Fejléc	Mértékegység	Példa
Mérés időpontja	DateTime	DateTime	28/02/2019 23:03
PM10	PM10	ug/m3	24,6
Szélirány	WDIR	Fok	300
Szélerősség	WSPE	km/h	3
Hőmérséklet	TEMP	Celsius	34,6
Páratartalom	HUMI	%	56
PM2,5	PM25	ug/m3	13,4

A fenti információkat az elmentett fájlok tartalmazzák. Az adatokat vesszővel elválasztottan adatfájlokban tároljuk, amelyekben egy sor egy mérést jelöl. Az egyéves mérés során az érzékelőmodul 852 fájlt generált, ami 547 MB tárhelyet igényelt. Az OLM-adatokat szigorúan kutatási célokra szereztük be. Ezek az adatok szabványos CSV formátumban tároltak, ami szintén egy szöveges fájl. Az 1. táblázatban feltüntetett adatokat az OLM adatfájl tartalmazza, a 2. táblázat a szenzorok által mért paramétereket foglalja össze.

2. táblázat. Szenzorok által mért adatok

Megnevezés	Fejléc	Mértékegység	Példa
Időbélyeg	Időpont	Dátum	2019.2.8 0:0:5
BME Nyomás	-	Pa	1009.02
BME Hőmérséklet	Temperature	Celsius	-1.65
BME Páratartalom	Humidity	%	80.43
DHT Hőmérséklet	-	Celsius	20.58
DHT Páratartalom	-	%	77.56
PMS7003 PM10	PM10	ug/m3	34
PMS7003 PM2,5	PM25	ug/m3	25
PMS7003 PM1	PM1	ug/m3	13
PMS7003 0,3 um részecskék darabszáma	N_D03	db/dm3	2345
PMS7003 0,5 um részecskék darabszáma	N_D05	db/dm3	254
PMS7003 1 um részecskék darabszáma	N_D1	db/dm3	23
PMS7003 2,5 um részecskék darabszáma	N_D2_5	db/dm3	10
PMS7003 5 um részecskék darabszáma	N_D5	db/m3	3
PMS7003 10 um részecskék darabszáma	N_D10	db/m3	1
Státusz	-	Ok/Error	-

Az OLM-adatok percenkénti átlagokat tartalmaznak, ugyanakkor az OLM-adatokban egy napra vonatkozó adathiányok is vannak. Mivel ezek szöveges fájlok és nem szabványos formátumúak, úgy döntöttünk, hogy egyedi szoftvert fejlesztünk az adatok feldolgozásához, beleértve egy egyéni elemzőprogramot és az adatmodellt. Az eddigi tapasztalataink alapján úgy döntöttünk, hogy a C# konzolalkalmazást használunk, amely az összes szoftveres feladatot elvégzi.

#### 4. Statisztikai adatok

A fejezetben bemutatásra kerülnek az eszköz által mért adatokra vonatkozó statisztikai eredmények érzékelőnként az OLM által mért adatokkal összevetve a hőmérséklet, a páratartalom, valamint a PM10 és PM2,5 paraméterekre vonatkozóan. A statisztikákat a napi adatokra vonatkozó minimum (4. táblázat), maximum (3. táblázat), átlag (5. táblázat) és szórás formájában számoltuk ki. A minimum és maximum értékekhez egy időváltozót is hozzárendeltünk.

Az év maximális értékeit a 3-4. táblázatok szemléltetik. A maximális értékek azt mutatják, hogy az általunk használt olcsó érzékelő nem helyesen mérte a maximális értékeket ugyanabban az időszakban, hanem a maximális értékek jelentősen magasabbak. A PM10 esetében ez szubjektív, mert nem ugyanabból a forrásból szívja a levegőt, mint az OLM-állomás, hanem a jóval magasabb hőmérsékleti értékek az érzékelő kialakításából is adódhatnak. A felső tartomány nagyobb hőmérsékletmérési hibát mutat. A maximális páratartalom érték lehet emiatt olyan eltérő, mert sok helyen a páratartalom mérés maximális értéket mutat.

**3. táblázat.** Mért értékek maximuma

Paraméter	Érték	Időpont
OLM PM10	1272,8	2019.02.13 16:31
PMS7003 PM10	8899	2019.02.12 20:24
OLM Hőmérséklet	35	2019.06.27 13:30
OLM Páratartalom	98	2019.07.28 3:28
DHT Hőmérséklet	43	2019.06.14 15:08
DHT Páratartalom	99,9	2019.08.27 7:40

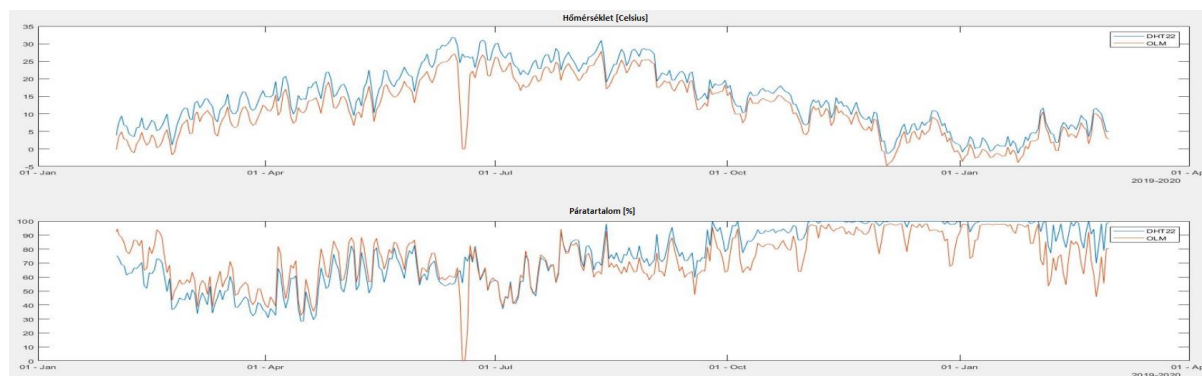
**4. táblázat.** Mért értékek minimuma

Paraméter	Érték	Időpont
OLM PM10	0,7	2019.10.03 6:33
PMS7003 PM10	0	2020.02.12 2:25
OLM Hőmérséklet	-7,2	2019.12.03 8:22
OLM Páratartalom	17,6	2019.03.28 12:54
DHT Hőmérséklet	-4,7	2020.01.08 4:31
DHT Páratartalom	10,36	2019.04.20 15:38

A táblázatban szereplő minimumértékek mérési időpontjai teljesen eltérőek. A 5. táblázat az éves átlagokat mutatja.

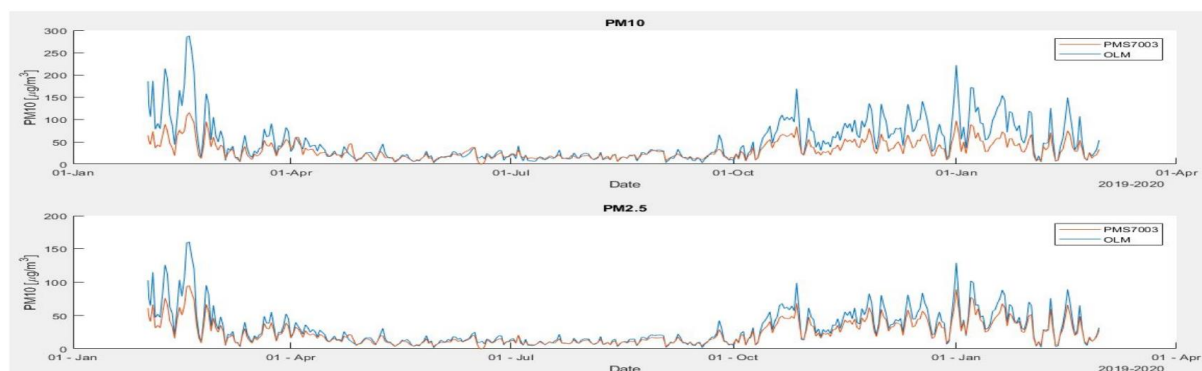
**5. táblázat.** Éves átlagértékek

Paraméter	Átlag
OLM PM10	31,75
OLM PM2,5	23,76
PMS7003 PM10	50,86
PMS7003 PM25	30,55
OLM Hőmérséklet	11,17
OLM Páratartalom	73
DHT Hőmérséklet	15,32
DHT Páratartalom	74



2. ábra. Egy év hőmérséklet és páratartalom értékek

Az éves átlagértékek azt jelzik, hogy a PMS7003 mérést kalibrálni kell, mert magasabb értékeket mér, mint az OLM állomás. A páratartalom értéke azonban a legközelebb áll a tényleges méréshez, és a hőmérséklet is közel áll a kalibrált mérőéhez. A hőmérséklet esetében, amint az a max. és min. értékekből látható, a mérés a mérési tartomány szélső értékeinél nem helyes. Ennek oka az lehet, hogy az adatgyűjtő elektronikája belülről fűti a házat, és ezért a szélsőértékeknél nem lesz teljesen pontos. A 2.-3. ábrán a napi átlagértékek alakulását szemléltetjük éves szinten a fentiekben összefoglalt paraméterek esetében.



3. ábra. Egy év PM10 és PM2.5 értékek

## 5. Összefoglalás

Az érzékelők a teljes mérési időszak alatt megfelelően működtek, és a kísérleti eredmények alapján a PMS7003 érzékelő alkalmas hosszú távú kültéri mérésekre. A 2.-3. ábra diagramjai azt mutatják, hogy a kalibrált érzékelő által mért adatsorok és a PM7003 által mért adatok között a 0,95 a lineáris korrelációs együttható, így azok erősen korrelálnak. Továbbá megállapítást nyert, hogy a nyári szezonban, amikor a részecsk koncentráció alacsonyabb, a hibahatár is kisebb. A fűtésérzékelő aktiválásakor a részecsk koncentráció nő, és a tél közeledtével a hibahatár emelkedik. Ezekben a hónapokban jellemzően magasabb a páratartalom, ami a részecskék hidrophil jellegéből adódhat (Di Antonio, A. et al., 2018), amit a kalibrált gép úgy kompenzál, hogy a mérés előtt 50%-ra csökkenti a páratartalmat. Ha a mérési hiba a magasabb tartományokban kiküszöbölhetővé válik, akkor a műszer alkalmassá válik egy nagy sűrűségű kvázi-tanúsítási mérőrendszer kiépítésére.

**Irodalom**

- [1] Báthory, Cs., Dobó, Zs., Garami, A., Palotás, Á., Tóth, P. (2022). Low-cost monitoring of atmospheric PM—development and testing. *Journal of Environmental Management*, 304, 114158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114158>
- [2] Plantower PMS7003 (2021). <http://www.plantower.com/en/content/?110.html>
- [3] Genikomsakis, K. N. et al. (2018). Development and on-field testing of low-cost portable system for monitoring PM<sub>2.5</sub> concentrations. *Sensors*, 18(4), 1056. <https://doi.org/10.3390/s18041056>
- [4] Bai, L. et al. (2020). Long-term field evaluation of low-cost particulate matter sensors in Nanjing. *Aerosol Air Qual. Res.*, 20, 242–253. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.11.0424>
- [5] Jiang, Y. et al. (2021): On-field test and data calibration of a low-cost sensor for fine particles exposure assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111958. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111958>
- [6] National Air Pollution Monitoring Network in Hungary. <http://www.levegominoseg.hu/automata-merohalozat>
- [7] Di Antonio, A. et al. (2018). Developing a relative humidity correction for low-cost sensors measuring ambient particulate matter. *Sensors*, 18(9), 2790. <https://doi.org/10.3390/s18092790>
- [8] Hojaiji, H., Kalantarian, H., Bui, A. A., King, C. E., & Sarrafzadeh, M.: *Temperature and humidity calibration of a low-cost wireless dust sensor for real-time monitoring*. 2017 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/SAS.2017.7894056>
- [9] Caya, M. V. C., Babila, A. P., Bais, A. M. M., Im, S. J. V., & Maramba, R.: *Air pollution and particulate matter detector using raspberry Pi with IoT based notification*. 2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2017.8269490>