



# Merkezi Tıbbi Gaz Sistemlerinde Yeni Bir Klinik Mühendislik Yaklaşımı: Endüstri 4.0

## A New Clinical Engineering Approach in Central Medical Gas Systems: Industry 4.0

Onur Koçak<sup>1</sup>, Hüseyin Kurtuldu<sup>1</sup>, Andaç Töre Şamiloğlu<sup>2</sup>, Berna Dengiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
[okocak@baskent.edu.tr](mailto:okocak@baskent.edu.tr), [hkurtuldu@baskent.edu.tr](mailto:hkurtuldu@baskent.edu.tr)

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
[andactore@gmail.com](mailto:andactore@gmail.com)

<sup>3</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
[bdengiz@baskent.edu.tr](mailto:bdengiz@baskent.edu.tr)

**Özetçe**— Sağlık kurumlarında tıbbi amaçlı kullanılan tüm gazlar tıbbi gaz olarak adlandırılır. Tıbbi gazlar hastanelerdeki ameliyathane ve yoğun bakımların da dahil olduğu tüm klinik birimlerde tedavi amaçlı ya da bu departmanların herhangi birinde bulunan bir cihazı çalıştırmak için kullanılmaktadırlar. Merkezi tıbbi gaz sistemleri (MTGS) ise istenilen gazları hastane içine döşenmiş bakır boru hatları yardımıyla hedef kliniğe götürmek için gerçekleştirilen taşıma ağını ifade etmektedir. MTGS'leri ana depo biriminde bulunan gaz veya gaz karışımı tüplerinden, kompresörlerden, tıbbi bakır boru ağundan, kat kesici vanalardan, dağıtıcı son birimler olan prizlerden ve katlardaki gaz akışını kontrol eden elektronik kat kontrol panellerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada MTGS'lerinin mega boyutlu şehir hastanelerinde klinik mühendislik yönetim modeli ile işletilmesi için Endüstri 4.0 uygulamalarından nasıl yararlanılacağı konusunda bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Endüstri 4.0 uygulamaları ile yüzlerce kilometre uzunluğundaki boru hatları ile elektronik ve mekanik bileşenlerin gerçek zamanlı takibi ve otomasyonu için bir tasarım önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — merkezi sistem; tıbbi gaz; endüstri 4.0; otomasyon; gerçek zamanlı takip.

**Abstract**—All gases used for medical purposes in health facilities are called medical gases. Medical gases are utilized for treatment in all clinical units including operating rooms and intensive care units in hospitals or are used to operate a medical device in any of these departments. The transport network that carries the gasses through copper pipes to the intended clinic in hospitals is referred to as central medical gas systems (CMGS). CMGS are composed of gas or gas mixture tubes in main storage units, compressors, medical copper pipelines, floor cutter valves, end-unit dispensing outlets, and electronic floor panels controlling the gas flow in floors. In this study, an approach on how to benefit from the Industry 4.0 applications to operate CMGS in mega-sized

city hospitals with clinical engineering management model was developed. A design model with Industry 4.0 applications was proposed to perform the automation and real-time monitoring of electronic and mechanical components on hundreds of kilometers long pipelines.

**Keywords**—central system; medical gases; industry 4.0; automation; real time tracking.

### I. GİRİŞ

Medikal amaçlı kullanılan bütün gazlara “tıbbi gaz” denir. Tıbbi amaçlı kullanılan bu gazların büyük bir kısmı yakıcı, yani alevi harekete geçiren özelliğe (oksijen gibi) sahiptir. Ayrıca yanıcı alevi besleyen özelliğe sahip tıbbi gazlar da mevcuttur (asetilen gibi). Yanıcı gazlar kullanım esnasında hasta ve kullanıcı için tehlike oluşturabileceğinden hastaya direkt uygulamada tercih edilmezler. Tıbbi gazların çok çeşitli kullanım alanları vardır [1]. Tıbbi gazlar hastanedeki patoloji, mikrobiyoloji, eczacılık, solunum bölümleri, analitik enstrüman laboratuvarları, ameliyathaneler gibi bölümlerde tedavi amaçlı ya da bu bölümlerin herhangi birinde bulunan bir cihazı çalıştırmak için kullanılmaktadırlar [2,3].

Tıbbi alanlarda sıklıkla kullanılan medikal gazlar oksijen (O<sub>2</sub>), azotprotoksit (N<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), medikal kuru hava, nitrojen (N), helyum (He), sıvı azot, etilen oksit, saf etilen ve argondur [1]. Bu gazların bir kısmı tedaviye yardımcı, tedavi sürdürücü gazlar olup doğrudan insana uygulanmaktadır. Bir diğer kısmı da tıbbi cihazların çalışması için gerekli olan gazlardır.

Merkezi tıbbi gaz sistemi, modern hastanelerde sorunsuz ameliyathaneler ve hastaların rahat bakımı için artık vazgeçilmez bir sistem haline gelmiştir. Yeni kurulan şehir



## Klinik Mühendisliği 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

hastaneleri için de aynı hassasiyetle uygulanması beklenmektedir.

Çok büyük kapasiteye sahip olacak şekilde planlanan ve yeni kurulmakta olan şehir hastaneleri için de aynı hassasiyetle uygulanması beklenmektedir. Ankara ili başta olmak üzere yatak sayısı 3000 'in üzerinde mega hastaneler inşa edilmektedir. Bu hastanelerde merkezi tıbbi gaz hizmetlerinin dağıtımında yeni teknolojileri kullanan modern yaklaşımların kullanılması gerektiği ortadadır [4]. Çok büyük bir alanda tıbbi gazların, güvenli ve standartlara uygun bir şekilde taşınarak, gazların yanıcı ve yakıcı özelliklerinden dolayı anlık izlenmesi gerekliliği artık günümüzde kaçınılmazdır [5].

Merkezi tıbbi gaz sistemi santrallerden, tıbbi bakır boru ağından, kat kesici valflerden (vanalardan) ve dağıtıcı son birimlerden (pendant, hasta yatak başı vs.) oluşmaktadır. Medikal Gaz Tesisatının omurgasını oluşturan tıbbi bakır boru ağının tamamlayıcı birimleri, santrallerden sonra gelen ikincil basınç düşürücüler, kat kesici vana kutuları ve alarm üniteleridir [6].

Birçok mekanik ve elektronik birimden oluşan merkezi tıbbi gaz sistemleri için ölçüm, izleme, uzaktan kontrol ve yönlendirme, karar destek sistemleri ile esnek bir alt yapının oluşturulması planlanmalıdır. Böylece kilometrelerce hattan ve yüzlerce parçadan oluşacak gaz sistemi kaliteli, yüksek verimle ve düşük maliyetle kontrol edilebilecektir [7]. Günümüzde Endüstri 4.0 devrimi olarak isimlendirilen teknoloji tam ölçek otomasyonu sağlayarak, şehir hastanelerinde bu önemli gereksinimi yerine getirecektir.

Bu çalışmada büyük ölçekli mega şehir hastanelerinde kullanılmak üzere bir merkezi tıbbi gaz sistemi ve bileşenleri incelenmiş ve kaliteli hizmeti sunacak verimli bir sistemin Endüstri 4.0 uygulamaları ile kurulabilmesi için genel bir model önerilmektedir [8].

## II. ENDÜSTRİ 4.0. VE AKILLI HASTANELER

### A. Endüstri 4.0

4.0 Endüstri devrimi, özellikle fabrikalarda veya diğer büyük montaj hatlarında gerçek zamanlı ölçüm ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi üzerine kurulmuştur. Akıllı fabrikalar, akıllı havaalanları, akıllı alışveriş merkezleri ve akıllı hastane projelerinde mühendislik, üretim ve hizmet sunucularında endüstri 4.0 teknolojisi hızla yaygınlaşmaktadır. Böylece sistemlerde verimlilik artışı, kaliteli hizmet, müşteri memnuniyeti, insan konforu vb. elde edilirken bunların yanı sıra ülke ekonomisine de önemli derecede katkı sağlanacaktır [9-11].

Endüstri 4.0 teknolojisi gelişmiş yazılım ve haberleşme teknolojilerini kullanarak, en iyi (optimum), en iyiye yakın veya olası alternatif çözümleri sunacak karar destek

sistemleri ile karar vericiye, sistem yöneticisine, klinik mühendise büyük ölçüde destek sağlayacaktır.

### B. Merkezi Tıbbi Gaz Sistemlerinin Endüstri 4.0 İlişkisi

Hastanelerde MTGS kaynağından hasta başına taşınacak tıbbi gazın türüne bağlı olarak ilgili standardı sağlayarak taşınmanın gerçekleştirilmesi hasta sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Dolayısıyla hastanelerde bu sistem ile, gaz akışının takibi makineden makineye bilgi aktararak yönetilebilecektir. Sistemin her aşamasında izlenmek istenen değerler bir ara yüz yardımıyla mobil iletişim araçları üzerinden görülebilecektir.

### C. Merkezi Tıbbi Gaz Sistemleri Bölümleri ve Otomasyon Çalışmaları

Merkezi sistem üzerinde bulunan kompresörler, soğutucu tank, kurutucular ve filtreler ile periferik uzanan tıbbi gaz boru hatlarının kritik bölümleri, elektronik kat kontrol üniteleri, yüksek basınç düzenleyicileri, kritik vanalardan ve gaz prizi girişleri parametrelerinin gerçek zamanlı ölçümü için sensör ve kablosuz haberleşme teknolojilerini barındıran modüllerin elektronik ve yazılımsal olarak ilgili şehir hastanesine özgü geliştirilmesi (custom – made tasarım) ve uygulanması gerçek zamanlı takip için oldukça kritik bir durumdur.

Ayrıca bina içi kritik birimlerin ve binalar arası kritik bölümlerin elektronik kontrol ve kumanda birimleriyle haberleşerek komut geçebilecek ve parametre okumaları yapabilecek modüllerin elektronik ve yazılımsal olarak tasarımı sistemin verimlilik esasına göre işletilmesi için dikkat edilmesi gereken bir diğer tasarım kriteridir.

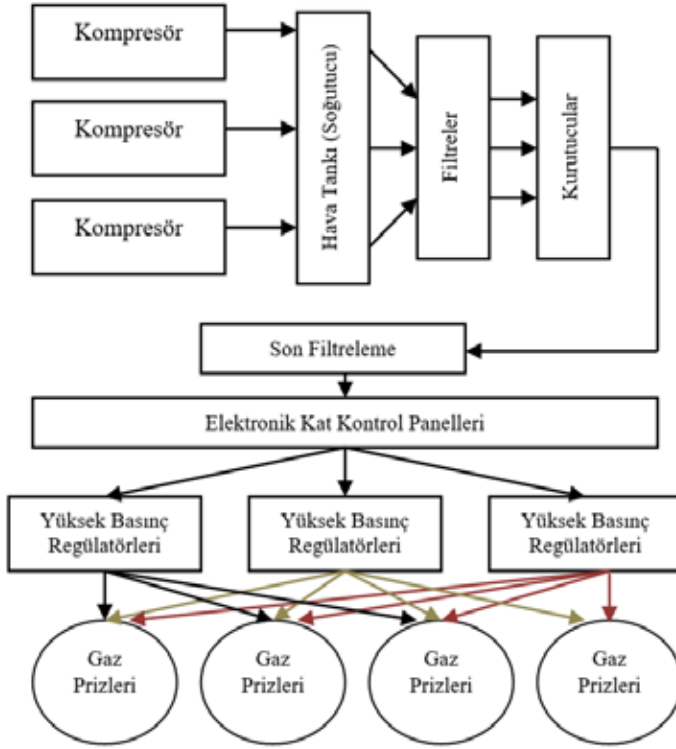
Modül verilerini bir merkezde toplayarak kayıt altına alan, analiz eden, en iyileme algoritmalarını koşturan, sonuçları biyomedikal & klinik mühendislik birimi yöneticilerinin onayına sunan, teknik personellerin ve üretim araçlarının uzaktan kontrol ve yönlendirmelerini yapan merkezi birimin donanım ve yazılım teknolojilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Merkezi birimden alınan verileri depolayacak ve kullanıcıların hizmetine internet üzerinden sunacak olan bulut sunucu yazılımlarının kurulması, geliştirilmesi ve işletilmesi çalışmanın yazılımsal çözümleridir.

Modüller ve merkezi birim arasında hızlı, güvenli ve evrensel haberleşme protokollerinin kablosuz olarak gerçekleştirilmesini sağlayacak olan donanım ve yazılımların geliştirilmesi ve uygulanması bir diğer tasarım problemidir. Yöneticilerin ve farklı yetki seviyelerindeki kullanıcıların uzaktan erişimlerini sağlayarak izleme ve komut alma görevlerini yapacak web sayfası, akıllı telefon/tablet uygulamalarının geliştirilmesi ve sorumlu personele aktarılması da oldukça önemlidir. Şekil 1'de merkezi bir tıbbi gaz sisteminin blok şema tasarımı görülmektedir.

## Klinik Mühendisliği 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi



Şekil 1. Merkezi Tıbbi Gaz Sistemi Blok Görünümü

### D. Merkezi Tıbbi Gaz Ünitelerinde Endüstri 4.0 Teknolojisini Uyarlanması

Şehir hastanelerinde kurulacak çok büyük boyutlu merkezi tıbbi gaz sisteminin otomasyonu, uzaktan kontrolü ve karar destek sisteminin oluşturularak endüstri 4.0 uygulamasının içerisinde yer alması için yukarıda bahsedilen tasarımların uygulanması gerekmektedir.

Özellikle katlarda bulunacak elektronik kontrol panellerinin “ara yüzlerinin oluşturulması” gerekmektedir. Sayısı oldukça fazla olan ve tüm tıbbi gaz hatlarındaki basıncı, direnci ve akışı anlık olarak izlemesi hedeflenen, kat basınçlarına göre karar vererek kendini regüle eden bir sistemin oluşturulması hedeflenmektedir. Kurulacak olan sistemin tüm kontrol - otomasyon yazılımları ve standartları ile uyumlu olmalıdır. Bu birimlerin UART, SPI, I2C, CANBUS, I/O gibi haberleşme ve girdi/çıkış protokollerini kullanarak tüm kontrol panelleri ile haberleşme görevlerini yerine getirecektir. Kat kontrol panellerinin çalışma süreleri, hata durumları gibi genel bilgilerin yanı sıra her kata ve boru hattına özel bilgiler (sıcaklık, basınç, direnç ve akış vb.) de toplanacaktır.

“Bağımsız ölçüm ve manipülasyon teknolojileri” veri paylaşımı için ara yüzü olmayan kompresörler, hava tankları, kurutucular, filtre blokları, yüksek basınç düzenleyicileri, gaz prizleri ve diğer bölgelerde istenilen verilerin ölçülerek toplanacağı modüller olacaktır.

Bölmelerdeki sıcaklık, basınç, nem, akış, direnç, gürültü ve istenilen diğer parametreleri lazer, kamera, optik, ultrasonik, manyetik, ivmeölçer, ısı çift (thermo-couple), yük hücresi (load cell), gibi sensörlerle ölçümleri gerçekleştirilebilir.

Klinik mühendislik biriminin merkezi gaz sisteminde kullandığı ve periyodik bakım onarım ve kalibrasyonunu gerçekleştirdiği gaz prizleri, basınç düzenleyiciler (regülatörler) ve filtreler ile hastane içerisinde dolaşarak hizmet vermesi gereken tıbbi gaz tüplerinin sürecin her aşamasında takip edilmelerini sağlayacak “ürün takip teknolojileri” kullanılacaktır. Kısa ve uzun menzilli RF-ID ve RF-ID UHF etiketler ve ibeacon modüller kullanılarak her bir birim için tüm işletim süreci takip edilebilecektir.

“Personel takip ve yönlendirme teknolojileri” klinik mühendislik biriminde görevli personellerin konum takibini yapabilmek ve işletim sürecinin verimini arttıracak yönlendirmeleri gerçekleştirebilmek için RF-ID, biometrik ve ibeacon tanımlama teknolojileri kullanılacaktır.

“Tıbbi gaz ünitesi merkezi kontrol birimi” hastane içindeki tıbbi gaz alt birimlerinin verilerini toplayacak, analiz edecek, karar destek sistem algoritmalarını koşacak, gerekli komutları alt birim cihazlarına ileticek, acil durum uyarı sistemlerini yönetecek ve periyodik raporlamalar üretecek olan şehir hastanesi merkezi tıbbi gaz birimi geliştirilmelidir.

Tıbbi gaz sistemlerinin ara yüz cihazları, bağımsız ölçüm cihazları ve personel takip ve yönlendirme cihazlarının klinik mühendislik merkezi birimiyle haberleşmesini sağlayacak olan “kablosuz ağ teknolojisi” kullanılacaktır. Kısa mesafeli aralıklarda Wi-Fi 2.4 Ghz/5GHz ve bluetooth haberleşme teknolojileri kullanılacak, daha uzun aralıklar ve altyapı yetersizliği olan durumlarda 3G/4.5G GSM haberleşme teknolojileri kullanılacaktır.

“Sunucu/Bulut Veritabanı ve Yazılım Teknolojileri” ile tıbbi gaz birimlerinin verilerini toplayarak veri tabanında saklayacak, klinik mühendislik yönetiminin erişimine açacak olan bulut sistem teknolojileri kullanılması düşünülmektedir. Elde edilen tüm verileri toplayarak analiz edecek, raporlayacak, karar destek sistem sonuçlarını yöneticilerin onayına sunacak olan bulut yazılımlarını içermelidir.

“Yönetici/Kullanıcı/Personel izleme ve müdahale ara yüzleri” ile web sayfası ve akıllı telefon uygulamaları aracılığıyla merkezi tıbbi gaz verilerini takip edebilecekleri, anlık ve periyodik raporlamaları alabilecekleri, analiz sonuçlarını görebilecekleri, karar destek sistemi komutlarını onaylayabilecekleri ara yüz

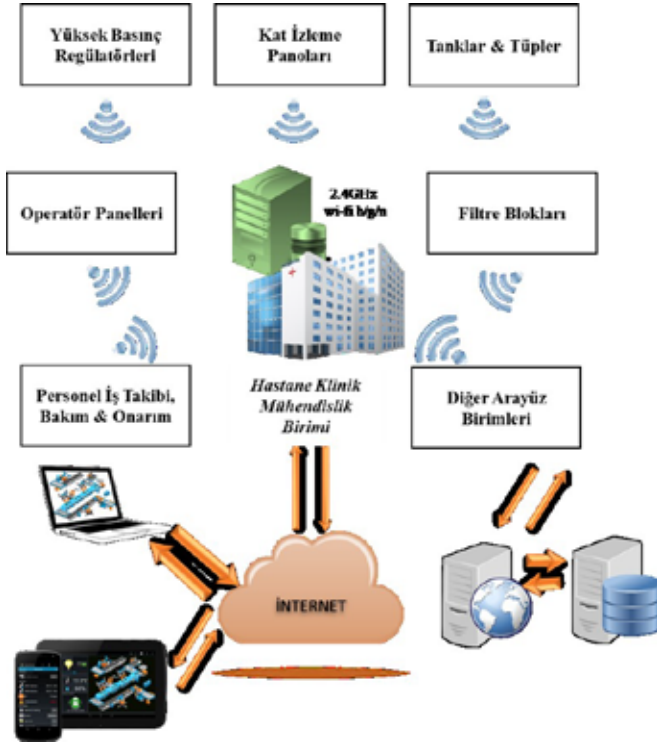


## Klinik Mühendisliği 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

yazılımlarının bulunması otomasyon ve karar destek sistemi tasarımı açısından oldukça önemli bir ihtiyaçtır.

“Tam ve yarı otomatik karar destek sistemi” merkezi gaz ünitesindeki birimlerin anlık optimizasyonu için problem tipine bağlı olarak algoritmalar geliştirilecektir. Matematiksel modelleme, doğrusal programlama, ayrık optimizasyon, doğrusal olmayan (evrensel, yerel ve stokastik) optimizasyon, meta sezgiseller örneğin genetik algoritma, çapraz entropi vb. teknikler kullanılarak probleme uygun çözüm algoritmalarının kullanıldığı karar destek sistemleri geliştirilebilir. Karar destek sistemi, yönetici kullanıcılar tarafından seçilen bazı durumlarda doğrudan karar verip uygulamaya geçecek bazı durumlarda ise klinik mühendislik yöneticisi ve yetkileri seviyelendirilmiş kullanıcıların onayına sunarak belirlenen kararları uygulayacaktır. Şekil 2’de MTGS’nin Endüstri 4.0 teknolojisi ile tasarlanmış hali görülmektedir.



Şekil 2. Merkezi Tıbbi Gaz Sistemi Endüstri 4.0 Teknolojisi ile Tasarımı

### III. MERKEZİ GAZ SİSTEMLERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI GEREKLİLİĞİ SONUCU

Tıbbi gazların büyük ölçekli hastanelerde merkezi olarak işletilmesi, taşınması, sistemin bakım ve onarımının gerçekleştirilmesi büyük bir işgücü gerektirmektedir. Olağan anlık basınç düşüşleri, hatlardaki arızalar, yüksek basınç düzenleyicilerden kaynaklanan problemler ve elektriksel kart sorunları sürekli izlenerek sistemin hizmet dışı kalması engellenmesi istenmektedir. Çünkü kritik alanlarda tıbbi gaz akışının sekteye uğraması yaşam

tehlikesi doğurmaktadır. Bu nedenle MTGS’nin tüm bileşenlerinin sürekli izlenmesi ve anlık müdahale edilmesi gerekmektedir. Yeni kurulan mega şehir hastanelerinde özetlenen problemlerin çözümü için nitelikli ve sayıca fazla yetişmiş insan gücüne ihtiyaç vardır.

Endüstri 4.0 teknolojisi ile tasarlanan makine – makine haberleşmesi ile bilgi aktarımı ve karar verme süreci sağlanan bir MTGS yoğun personel ihtiyacını ortadan kaldırarak otomasyonu sağlayabilmektedir. Böyle bir teknolojinin şehir hastanelerine kazandırılması ile birlikte verimlilik artışı, kalite, insan konforu vb. katkıların yanı sıra ülke ekonomisine de önemli derece girdi sağlanabilecektir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Aydın, O., Eroğul, O., Telatar, Z., "Tıbbi Gaz Sistemlerinde Basınç Kontrolü İçin Bir Uyarı Sistemi Tasarımı", *Biyomut 2009, 14. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı Bildiriler Kitabı*, İzmir, 2009.
- [2] Demirgüneş DD., Ertaş G., Eroğul, O., "Sağlık Kurumlarında Tıbbi Gaz Kullanımı ve Tıbbi Gaz Sistemlerinin İşletilme Esasları," *Tip Teknolojileri Ulusal Kongresi*, Antalya, 2010.
- [3] DeRosier, J., Stalhandske, E., Bagian, J.P., Nudell, T., "Using Health Care Failure Mode and Effect Analysis™: The VA National Center for Patient Safety's Prospective Risk Analysis System", *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, Vol 28, No 5, 2002, pp. 248-267(20)
- [4] Di Marco, J. "5 Common Medical Gases Used in Hospitals", *Blog Posts*, CHT Healthcare, September 24, 2015
- [5] Dascalaki, E.G., Lagoudi, A., Balaras, C.A., Gaglia, A.G. "Air quality in hospital operating rooms", *J. Building and Environment*, Vol. 43, 2008, (11):1945-1952.
- [6] Francis W.H. Yik Joseph H.K. Lai P.L. Yuen, "Impacts of facility service procurement methods on perceived performance of hospital engineering services", *J. Facilities*, Vol. 30 Iss 1/2, 2012, pp. 56 – 77.
- [7] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H., "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems", *Manufacturing Letters*, Vol. 3, 2015, pp.18-23.
- [8] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., Hoffmann, M., "Industry 4.0" *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 6.,2014, (4):239-242.
- [9] Industrie 4.0 Working Group, "Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0," 2013.
- [10] Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., Zühlke, D., "Human-machine-interaction in the industry 4.0 era", *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp 289-294, 2014.
- [11] Branger, J., Pang, Z., "From automated home to sustainable, healthy and manufacturing home: a new story enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0", *Journal of Management Analytics*, Vol.2, Iss.4, pp314-332, 2015.