

Internet stvari in senzorska omrežja za ocenjevanje delovnega okolja in vzdrževanje na osnovi stanja

Damir HUSEJNAGIĆ, Boža PUSTOVRH MARTINČIČ, Peter ŽNIDARIČ, Toni PROŠEK, Borut RIHTARŠIČ

Izveček: Proizvodna podjetja strojne opreme še vedno pristopajo k vzdrževanju reaktivno in v nekaterih primerih preventivno, kar je zastarelo in neučinkovito. Cilj je, da z uporabo novih tehnologij in z uvedbo vzdrževanja na osnovi stanja zmanjšamo tako stroške vzdrževanja kot tudi izgub zaradi nepričakovanih izpadov. Sistem za ocenjevanje delovnega okolja in vzdrževanje na osnovi stanja je razvit z upoštevanjem standardov ISO13374, IEEE1451, OSA-CBM in OSA-EAI. Je samostojen modul z možnostjo integracije v obstoječe sisteme. Osnovni gradniki so pametna vozlišča, sestavljena iz mikrokrmilnika, analogno-digitalnega pretvornika, različnih senzorjev, komunikacijskega vmesnika ter napajalnega modula. Njihova naloga je zajem podatkov iz senzorjev, matematična obdelava ter pošiljanje rezultatov na strežnik. Med seboj so povezana v senzorsko omrežje z različnimi tehnologijami. V prispevku so predstavljene predvsem rešitve s področja meritev okoljskih parametrov, ki so sicer kot dopolnilni podatki vključeni v algoritme za ocenjevanje stanja. Senzorska omrežja za meritev okoljskih parametrov so uporabna tudi za oceno stanja delovnega okolja skladno z zakonom o Varnosti in zdravju pri delu. Sistem omogoča spremljanje, nadzor in ocenjevanje dejavnikov delovnega okolja ter opozarjanje ob odstopanjih na isti način kot pri spremljanju stanja strojev in opreme, zato je enostavno razširljiv na ostala področja, npr. arhive, skladišča itn. Predstavljeni sistem je bil razvit znotraj Kompetenčnega centra Sodobne tehnologije vodenja na razvojnem projektu RRP5, ki je potekal od 1. 1. 2011 do 31.12. 2013.

Ključne besede: vzdrževanje na osnovi stanja, pametna vozlišča, senzorska omrežja, merjenje okoljskih parametrov

■ 1 Uvod

Upravljanje vzdrževanja industrijskega obrata predstavlja kompleksno dejavnost, ki vključuje obdelavo velike količine informacij iz različnih virov (oprema, stroji in delovno okolje). Vzdrževanje predstavlja dejavnost, ki se izvaja v vseh sektorjih in na vseh delovnih mestih zato, da oprema, stroji in delovno okolje ostajajo varni in zanesljivi [1].

Mag. Damir Husejnagić, univ. dipl. inž., mag. Boža Pustovrh Martinčič, univ. dipl. inž., Peter Žnidarič, dipl. inž., Toni Prošek, univ. dipl. inž., mag. Borut Rih-taršič, univ. dipl. inž., vsi Lito-strojPower, d. o. o., Ljubljana

Današnji postopki vzdrževanja so žal po večini še vedno kurativni, tj., ko se napaka na opremi že pojavi. V najboljšem primeru pa se uporablja preventivno vzdrževanje v obliki periodičnih postopkov, kjer je poudarek na periodičnem ali načrtnem vzdrževanju zaradi preprečevanja zastojev in odpovedi opreme. Pri slednjih se vzdrževalni poseg opravi v predpisanih intervalih, npr. enkrat letno, pri čemer se zamenjajo komponente po predpisih proizvajalca opreme ne glede, ali je to res potrebno ali ne. Ideja prediktivnega vzdrževanja (angl. condition based maintenance) je v tem, da je oprema ves čas pod nadzorom, pri čemer se poseg opravi pravočasno in le takrat, ko je to zares potrebno [2].

Veliko raziskav je bilo opravljenih na področju sodobnih postopkov

za nadzor stanja, diagnostiko napak ter prognostiko in so osnova prediktivnega vzdrževanja. Kljub temu pa je uporaba prediktivnega vzdrževanja v industriji danes še sorazmerno redka. Razlogov za to je več:

- sorazmerno visoki vstopni stroški za implementacijo obstoječih platform,
- pomanjkanje domenskih znanj s področja diagnostike in prognostike, saj so le-ta večinoma koncentrirana v specializiranih centrih v okviru velikih korporacij,
- reorganizacija vzdrževalnih procesov, kar terja dodatno izobraževanje kadrov znotraj tovarn.

Zahvaljujoč novim komunikacijskim tehnologijam ter cenovno ugodnim zmogljivim generacijam procesorjev in senzorjev so nastali pogoji

za izvedbo diagnostičnih sistemov, ki so zmogljivi, cenovno dostopni in primerni za širši nabor industrijskih pogonov in naprav. To je temeljno izhodišče tega članka.

V prispevku sta predstavljena koncept in izvedba sistema za sprotni nadzor stanja opreme, strojev in delovnega okolja za odkrivanje morebitnih napak v zgodnji fazi, zmanjševanje zastojev in vzdrževalnih stroškov sistema ter prilagoditev delovnega okolja opraviлом zaposlenih. Koncept je izdelan z upoštevanjem standarda MIMOSA OSA-EAI. Jedro sistema je informacijski sistem, ki omogoča zajem, shranjevanje ter obdelavo različnih signalov. Platforma temelji na pametnih vozliščih in odprtokodnih rešitvah. V nadaljevanju je podrobno opisana vsaka komponenta sistema.

2 Stanje in povzetek obstoječih informacijskih rešitev

Na tržišču obstajajo različni sistemi za vzdrževanje na osnovi stanja

opreme, strojev in delovnega okolja, vendar večina teh sistemov ni razširljiva ali medsebojno kompatibilna.

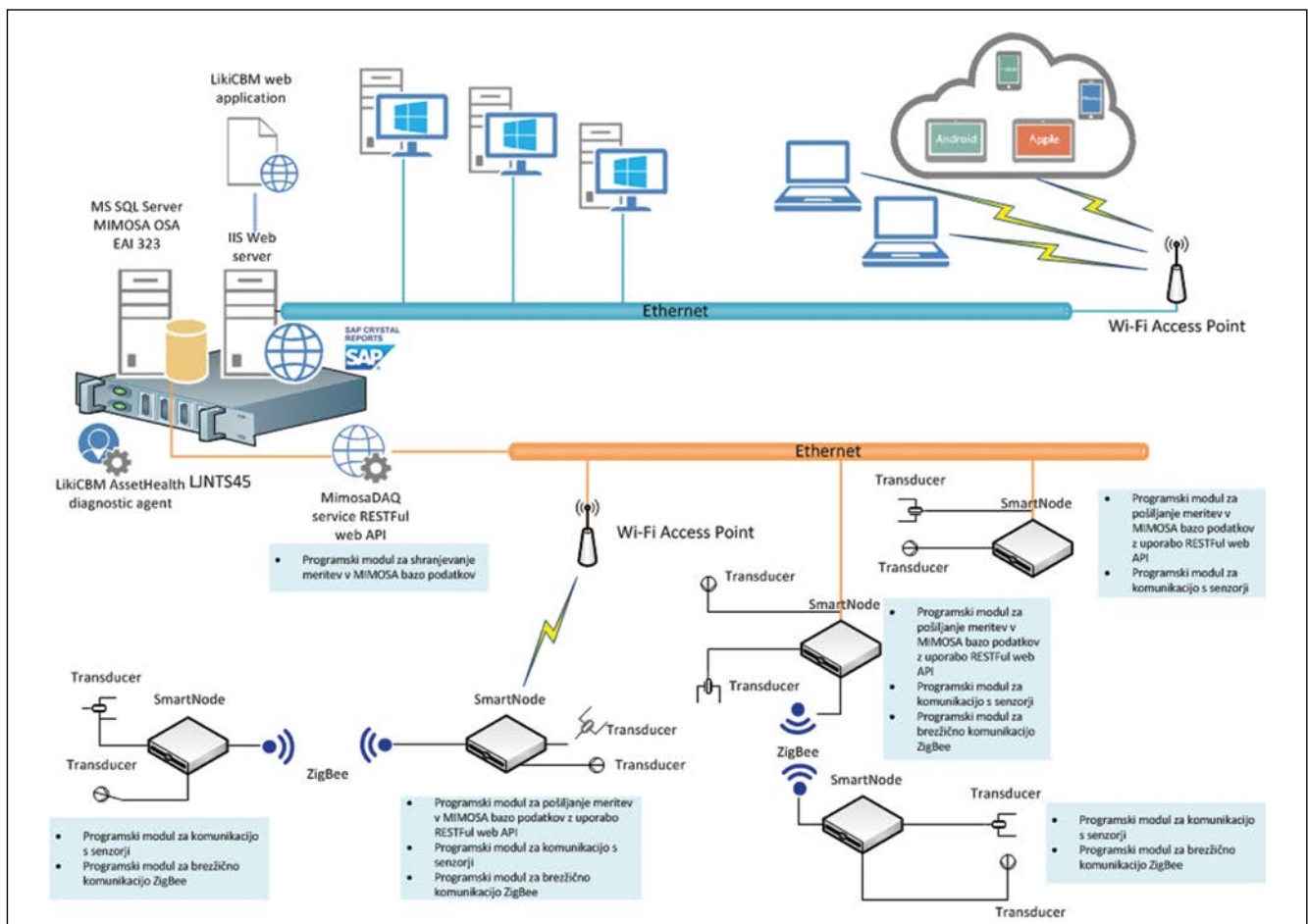
Za sisteme, ki jih ponujajo različni prodajalci, je lahko proces vključevanja v obstoječe informacijske sisteme v podjetju problematičen, saj imajo mnogi sistemi svoje edinstvene vmesnike za izmenjavo podatkov. Po drugi strani senzorska omrežja za spremljanje stanja strojev in ocenjevanje delovnega okolja generirajo velike količine podatkov. Zagotoviti je treba združljivost z obstoječimi informacijskimi sistemi z uporabo odprtega standarda za upravljanje, izmenjavo podatkov in integracijo aplikacij.

Večina obstoječih sistemov pošilja neobdelane podatke od senzorskih vozlišč do centralnih računalnikov za nadaljnje procesiranje z uporabo nizkonivojskega komunikacijskega protokola. Pri tem ne uporabljajo standardnih vmesnikov, kar predstavlja ključno pomanjkljivost pri medsebojnem povezovanju in delovanju različne opreme in sistemov.

2.1 Standardi na področju sistemov za prediktivno vzdrževanje

ISO 13374 je standard, ki opisuje modularno zgradbo diagnostičnega sistema. S tem se želi doseči večja medsebojna povezljivost komponent diagnostičnega sistema in zunanjih sistemov.

Druga dva pomembna standarda je predlagalo združenje MIMOSA (Machinery Information Management Open Systems Alliance)[3]. Prvi, standard OSA-CBM (Open Systems Architecture for Condition Based Maintenance), je implementacija standarda ISO 13374. Drugi, standard OSA-EAI (Open Systems Architecture for Enterprise Application Integration), je skladen z arhitekturo za nadzor stanja in diagnostiko, ki jo predlaga standard ISO 13374. OSA-EAI ponuja odprt standard za izmenjavo podatkov na pomembnih področjih, kot so diagnostika in napovedovanje, prenos vibracijskih podatkov, podatkov o parametrih olja in informacije o zanesljivosti.



Slika 1. Zgradba diagnostičnega sistema [6]

Sistem MIMOSIN OSA-EAI ponuja prednosti za uporabnike (vzdrževalce), razvijalce tehnologije in proizvajalce komponent. Prednost za uporabnike je ta, da lažje integrirajo informacije o vzdrževanju opreme, na razpolago imajo širši nabor programske opreme za aplikacije. Integracija programske opreme kakor tudi njeno vzdrževanje sta cenejša. Za proizvajalce tehnologij MIMOSA OSA-EAI razširja trg in omogoča večjo osredotočenost razvojnega dela na vsebinske aktivnosti, namesto na ukvarjanje s platformo. OSA-EAI omogoča ponovno uporabo programske opreme (angl. re-usability), kar je pomembno zlasti pri razvoju. Komponente, ki so že razvite, je možno le z manjšimi spremembami ali povsem brez sprememb ponovno uporabiti v drugih aplikacijah.

■ 3 Zasnova diagnostičnega sistema

Zgradba diagnostičnega sistema se lahko razdeli na več nivojev, kar je prikazano na *sliki 1*. Na najnižjem nivoju so na posameznih strojih nameščeni različni senzori. Povezani so na eno ali več manjših naprav, t. i. pametna vozlišča, ki opravljajo zajem in osnovno obdelavo izmerjenih podatkov, rezultate pa pošiljajo v centralni nadzorni sistem. Posamezni moduli nadzornega sistema (diagnostični agenti) izvajajo nadaljnjo obdelavo prejetih podatkov iz pametnih vozlišč. Na najvišjem nivoju je zgrajen spletni uporabniški vmesnik, ki vzdrževalce informira o trenutnem stanju nadzorovane opreme. Prav tako omogoča vzdrževalcem vnos in pregled opravljenih vzdrževalnih posegov na strojih in napravah. Vsi podatki in informacije o stanju naprav se pridobivajo, shranjujejo in posredujejo v elektronski obliki. Končni uporabniki lahko dostopajo do zelenih informacij preko stacionarnih računalnikov oziroma mobilnih naprav (tablice, telefoni).

■ 4 Uporaba platforme Microsoft .NET Gadgeteer za pametna vozlišča

Microsoft .NET Gadgeteer[3] predstavlja platformo za hitro izdelavo



Slika 2. Platforma Microsoft .NET Gadgeteer

prototipov vgradnih sistemov in elektronskih pripomočkov (*slika 2*). Platforma je zgrajena na ogrodju Micro .NET Framework, ki omogoča programiranje vgradnih sistemov v programskem jeziku C# z uporabo orodja MS Visual Studio za programiranje in razhroščevanje. Posamezne module NET Gadgeteer je mogoče zlahka priključiti skupaj in zgraditi preproste in sofisticirane naprave. Vsak modul dodaja nekaj dodatnih zmogljivosti, kot so senzoriranje okolja, komuniciranje z drugimi napravami, sposobnost za prikazovanje slik, predvajanje zvokov ali interakcijo z uporabniki. Osnovni gradnik je pametno vozlišče, ki je sestavljeno iz mikrokrmilnika, analogno-digitalnega pretvornika, različnih senzorjev, komunikacijskega vmesnika in napajalnega modula. Naloge vozlišča so zajem podatkov iz senzorjev, njihova matematična obdelava in pošiljanje rezultatov strežniku. Pametna vozlišča lahko povezujemo v senzorsko omrežje z različnimi tehnologijami. Najbolj robustna povezava je Ethernet, ki omogoča prenos večje količine podatkov v realnem času. Uporabljata pa se tudi brezžični povezavi Wi-Fi in ZigBee. Povezava ZigBee je zanimi-

va za vozlišča z majhnim prenosom podatkov, saj je cenovno ugodna in ima majhno porabo energije, kar je še posebej pomembno v primerih, ko se vozlišče napaja iz baterije.

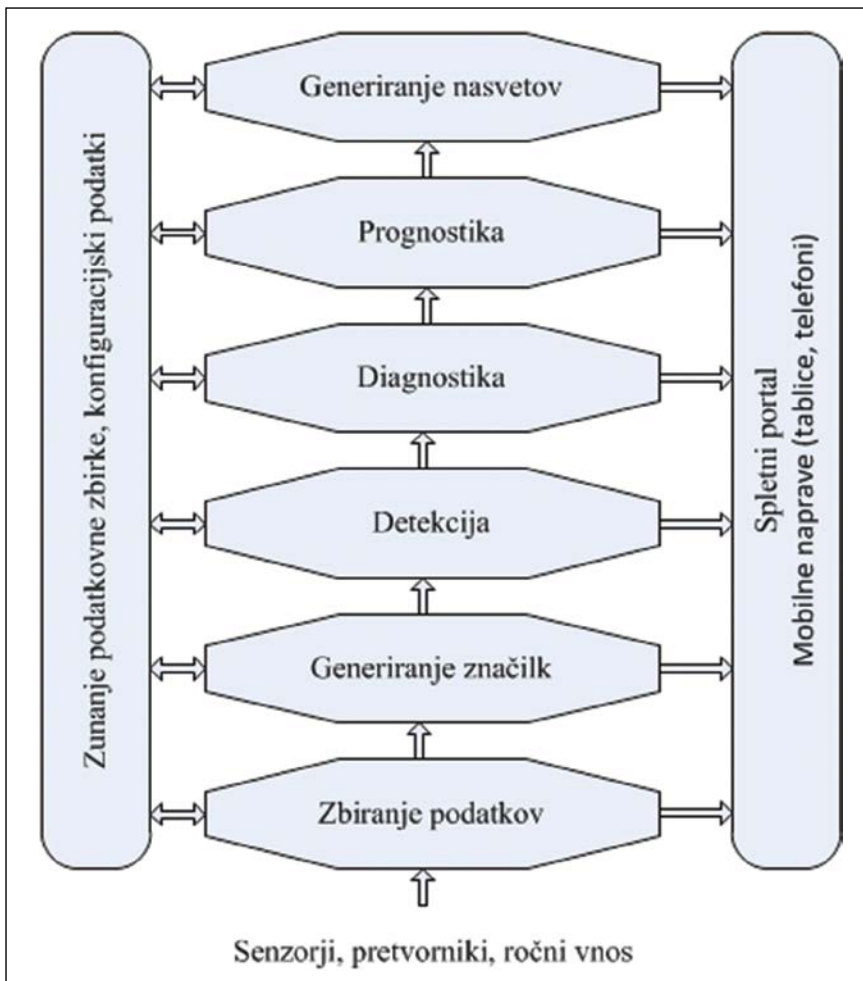
■ 5 Standard MIMOSA OSA EAI

Standard MIMOSA [4] vsebuje množico navodil za integracijo vzdrževanja v informacijsko verigo podjetja. Informacijska osnova sistema je relacijska baza podatkov, ki določa format podatkov vseh komponent vzdrževalnega sistema. Poleg tega MIMOSA definira še način komuniciranja med posameznimi procesi vzdrževanja.

Implementacija sistema MIMOSA obsega dva segmenta:

- podatkovno bazo,
- šest obdelovalnih modulov.

Nadzorni sistemi, izdelani z upoštevanjem standarda MIMOSA OSA-EAI, vsebujejo šest logičnih obdelovalnih modulov. Moduli so med seboj povezani v verigo, ki je ponazorjena na *sliki 3*. Prva dva modula (zbiranje podatkov, generiranje zna-



Slika 3. Postopki diagnostičnega in prognostičnega sistema

čilk) sta pogosto implementirana na opremi za zajem, predvsem takrat, ko gre za vgrajene sisteme. Tretji modul (detekcija) preverja, ali so zajeti signali v predpisanih mejah. Naslednja dva modula (diagnostika, prognostika) vsebujeta glavno funkcionalnost sistema. Njun izhod sta informaciji o trenutnem stanju strojev in o pričakovani življenjski dobi. Na podlagi teh dveh informacij zadnji modul (generiranje nasvetov) ustvari seznam možnih ukrepov.

■ 6 Testna implementacija sistema

Sistem za ocenjevanje delovnega okolja in vzdrževanja na osnovi stanja je implementiran na dveh ključnih strojih v delavnici podjetja Litostroj Power. Osnovni gradniki sistema so pametna vozlišča (vgradni sistemi za merjenje temperature na pogonskem motorju stroja, merjenje temperature in vlage v elektrooarmu stroja, merjenje temperature in vla-

ge v okolici stroja, vgradni sistem za ocenjevanje ustreznosti delovnega okolja pri delavcu) in centralni informacijski sistem, skladen s standardom MIMOSA OSA-EAI.

6.1 Podatkovni model

Standard OSA-EAI se lahko opiše z relacijskim modelom z imenom CRIS (Common Relational Information Schema). CRIS definira osnovne entitete za vzdrževanje opreme, attribute, pripadajoče tipe in relacije med entitetami. Specifikacije za CRIS vsebujejo skripte SQL za generiranje baze s tabelami, ki predstavljajo te entitete. Na voljo je tudi skripta SQL, ki napolni nekatere osnovne tabele in šifrante s podatki. Pri razvoju opisane rešitve sta bili uporabljeni obe omenjeni skripti ter generirali podatkovni model v obliki podatkovne baze na strežniku MS SQL 2012. Podatkovni model je zelo obsežen, saj je rezultat skripte približno 400 različnih tabel, ki so med

seboj v različnih relacijah. Primarni ključi na teh tabelah so običajno sestavljeni iz več polj in zato dokaj kompleksni. Ob implementaciji sistema je prvi korak vnos osnovnih podatkov in šifrantov. Najprej je treba prepoznati minimalni nabor tabel za delujočo rešitev (slika 4). Pri tem je treba upoštevati dejstvo, da mora biti aplikacija primerna za vse tipe podjetij kot tudi za storitveno podjetje, ki vzdržuje stroje in naprave v različnih podjetjih.

Osnovni šifranti rešitve so:

- Enterprise: osnovni podatki o podjetju,
- Site: del podjetja,
- Segment: stroj ali naprava,
- Asset: deli strojev in seznam senzorske opreme,
- Transducer: senzorska oprema na merilnem mestu,
- Data_Source: vir podatkov – npr. zunanji sistem, pametno vozlišče,
- Agent: fizični objekt (oseba, skupina, organizacija ali inteligentni program), ki lahko izvaja delo, diagnosticira in določa stanje stroja,
- Meas_location: opisano mesto meritve na nekem stroju oziroma delu stroja,
- Logistic_resource: šifrant proizvodnih sredstev (material, delovna sila).

V tabelo `dbo.meas_location`, v polje `user_tag_ident`, se vpisuje vnaprej definirana oznaka merilnega mesta (oznaka se v tabeli ne sme ponavljati).

Spletni grafični vmesnik za dostop do podatkovne zbirke MIMOSA je izdelan z uporabo tehnologije ASP. NET MVC (Model View Controller) in vmesnika za objektno-relacijsko preslikavo (ORM – Object Relational Mapping) Entity Framework.

Vsebina spletnega grafičnega vmesnika je razdeljena na štiri dele (slika 5):

- vnos šifrantov,
- vnos intervencij,
- vpogled v podatke,
- stanje strojev.

Za uporabnika je pripravljeno (slika 6):

- vnos novega podatka (»Create New«) – za vse šifrante je uporabljen objekt »spustni seznam«,

ENTERPRISE enterprise_id ent_db_site ent_db_id ent_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	SITE site_code enterprise_id site_id st_db_site st_db_id st_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	SEGMENT segment_site segment_id seg_db_site seg_db_id seg_type_code segment_group_yn criticality ts_type_db_site ts_type_code user_tag_ident name long_description gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	ASSET asset_org_site asset_id as_db_site as_db_id as_type_code user_tag_ident name long_description criticality cs_type_db_site cs_type_code mf_db_site mf_db_id manu_code model_db_site model_db_id model_id serial_number asr_db_site asr_db_id asr_type_code segment_site segment_id last_upd_db_site last_upd_db_id gmt_last_updated rstat_type_code	TRANSDUCER tr_asset_site tr_asset_id tr_db_site tr_db_id tr_type_code out_eu_db_site out_eu_db_id out_eu_type_code out_amplitude per_eu_db_site per_eu_db_id per_eu_type_code gmt_last_calib self_powered_yn user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	MEAS_LOCATION meas_loc_site meas_loc_id ml_db_site ml_db_id ml_type_code segment_or_asset segment_site segment_id asset_id m1_eu_db_site m1_eu_db_id m1_eu_type_code ds_db_site ds_db_id ds_type_code tr_db_site tr_db_id tr_type_code ta_orient_deg ta_db_site ta_db_id ta_type_code m1m_loc_seq motion_direction m1m_user_prefix mc_db_site mc_db_id mc_type_code mc_cak_size update_interval lint_eu_db_site lint_eu_db_id lint_eu_type_code collect_duration dur_eu_db_site dur_eu_db_id dur_eu_type_code sm1_data_type sm1_pattern_regex user_tag_ident barcode name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	DATA_SOURCE ds_asset_site ds_asset_id ds_db_site ds_db_id ds_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	MEAS_EVENT meas_loc_site meas_loc_id gmt_event ev_loc_tr_delta ev_loc_min_delta gmt_stored st_loc_tr_delta st_loc_min_delta segment_site segment_id asset_org_site asset_id ds_asset_site ds_asset_id tr_asset_site tr_asset_id dsqual_type dsqual_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	MEVENT_NUM_DATA meas_loc_site meas_loc_id gmt_event eu_db_site eu_db_id eu_type_code data_value gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code
ENTERPRISE_TYPE enterprise_type ent_db_site ent_db_id ent_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	SITE_TYPE st_db_site st_db_id st_type_code user_tag_ident name mobile_yn gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	SEGMENT_TYPE seg_db_site seg_db_id seg_type_code user_tag_ident name default_mnemonic gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	ASSET_TYPE as_db_site as_db_id as_type_code user_tag_ident name default_mnemonic gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	TRANS_TYPE tr_db_site tr_db_id tr_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	MEAS_LOC_TYPE ml_db_site ml_db_id ml_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	DATA_QUAL_TYPE dsqual_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	MEAS_LOC_TYPE ml_db_site ml_db_id ml_type_code user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code	SP_AMPL_DATA meas_loc_site meas_loc_id gmt_event ordering_seq eu_db_site eu_db_id eu_type_code p1st_sc_db_site p1st_sc_db_id p1st_sc_type_code freq_or_order min_in_hz_or_ord max_in_hz_or_ord src_db_site src_db_id src_type_code sp_sr_db_site sp_sr_db_id sp_stream_id assoc_rpm_min_hz amplitude angle_in_degrees user_tag_ident name gmt_last_updated last_upd_db_site last_upd_db_id rstat_type_code

Slika 4. Tabele podatkovne zbirke za vnos šifrantov

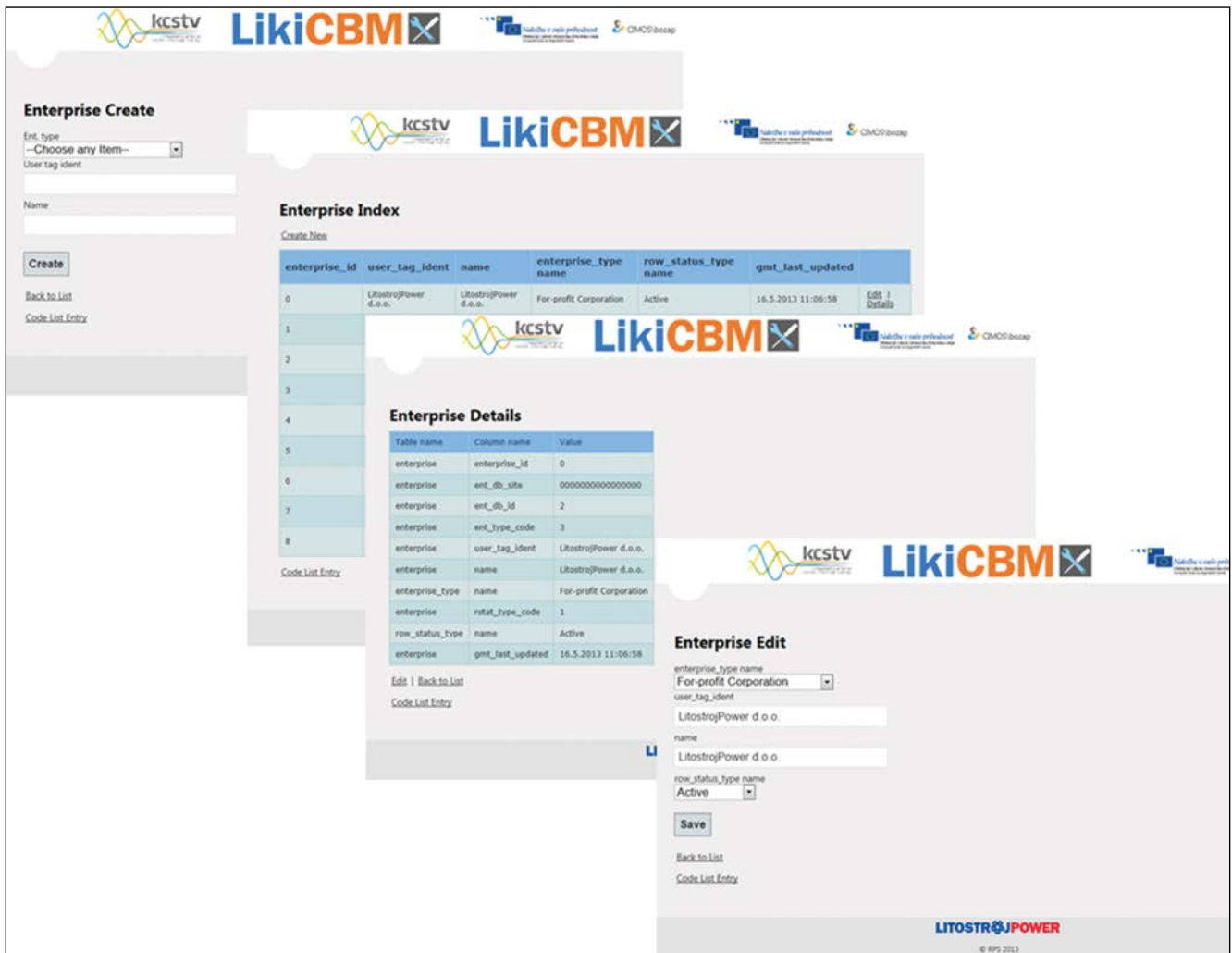
tako da uporabnik lahko le izbira med obstoječimi možnostmi. Pri podatkih, kjer sta vnos ali oblika vnosa (npr. številke, velike črke) obvezna, se pri pomanjkljivem ali nepravilnem vnosu prikaže opo-

zorilo. Za ostala polja je vnos prost; pogled na vse podatke – seznam vseh vnosov, prikazani so le pomembni podatki. Podatki, ki so namenjeni povezavam v ozadju podatkovne zbirke, zaradi pregle-

dnosti tu niso prikazani; detajlni pogled na posamezno vrstico (»Details«) – za posamezno vrstico, ki zanima uporabnika, lahko pogleda vse podatke, tudi tiste, ki so v splošnem pregledu ostali skriti;



Slika 5. Vstopno okno spletnega poročilnega sistema



Slika 6. Uporabniški vmesniki spletne aplikacije

- sprememba vnosa (dopuščena je možnost, da se uporabnik pri vnosu zmoti, zato mu je omogočeno, da svojo napako sam popravi – »Edit«), vendar samo tistih podatkov, ki ne rušijo konsistentnosti; popraviljanje je namreč možno v katerikoli fazi, tudi ko so podatki že uporabljeni kot šifrant pri vnosi v naslednje tabele;
- brisanje podatkov – zaradi možnosti in ohranjanja zgodovine je sprejeta odločitev, da ni možnosti brisanja. Ob prvem vnosu imajo vsi objekti status »Active«, uporabnik pa lahko kasneje status spremeni v »Inactive« ali »Soft Deleted«.

6.2 Moduli za zajem podatkov

Posamezne meritve se izvajajo na merilnih lokacijah, ki so fizična mesta na opremi, delovnem okolju, stroju ali delu stroja. Običajno je vsako merilno mesto opremljeno z

lastnim senzorjem, ki je povezan z modulom za zajem podatkov (pametno vozlišče).

Moduli za zajem podatkov so zgrajeni na platformi Microsoft .NET Gadgeteer. Programska oprema pametnih vozlišč je izdelana v razvojnem okolju MS Visual Studio in je sestavljena iz različnih programskih modulov za komunikacijo s senzorji, brezžično komunikacijo ZigBee in mrežno komunikacijo TCP/IP.

Na prvem stroju so postavljeni trije moduli za zajem podatkov:

- vgradni sistem za merjenje temperature in vlage v elektrooamari stroja,
- vgradni sistem za merjenje temperature in vlage v okolici stroja in
- vgradni sistem za ocenjevanje ustreznosti delovnega okolja pri delavcu.

Prva dva vgradna sistema sta povezana v brezžično omrežje ZIGBEE.

Podatki o temperaturi in vlagi v okolici stroja se pošiljajo do vgradnega sistema – koordinatorja v elektrooamari stroja, ki je zadolžen za prenos meritev do strežnika. Vgradni sistem za ocenjevanje ustreznosti delovnega okolja (prepih, osvetlitev, temperatura, vlaga) je postavljen zraven konzole za krmiljenje stroja in preko povezave TCP/IP prenaša meritve do strežnika.

Na drugem stroju je postavljen vgradni sistem za merjenje temperature na pogonskem motorju stroja, ki direktno prenaša meritve do strežnika preko povezave Ethernet. Vsi vgradni sistemi uporabljajo spletno storitev vmesnega programja (RESTful Web API Service middleware) za prenos meritev v podatkovni strežnik [5].

Pred vpisom meritve je treba definirati šifrant merilnih mest v tabeli meas_location. Za identifikacijo me-



Slika 7. Pametna vozlišča brezžičnega senzorskega omrežja ZIGBEE za zajem podatkov iz elektroomare stroja

rilnega mesta se pri vpisu meritve uporablja polje user_tag_ident iz tabele meas_location.

Za vpis meritve se uporabljajo naslednje tabele:

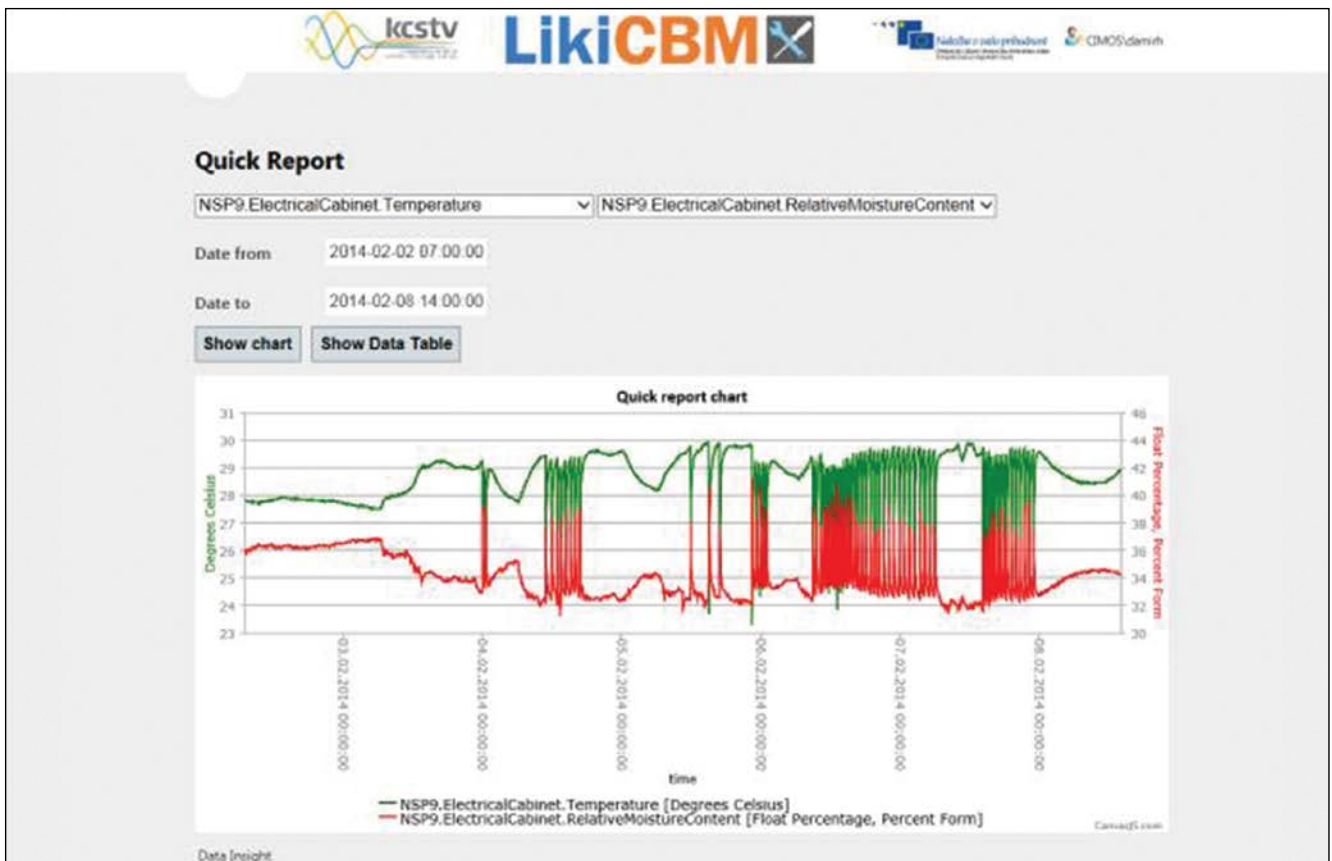
- meas_event: seznam vseh dogodkov, ki predstavljajo izvedbe meritev,
- mevent_num_data: za vpis skalarnih vrednosti meritev,

- sp_ampl_data: za vpis vektorskih vrednosti meritev (vibracije),
- sp_stream: opisuje, kateri postopek za obdelavo signalov je bil uporabljen pri izračunu značilke v tabeli sp_ampl_data.

Vsi podatki, ki jih zbirajo senzorji, se zapisujejo v tabele. Tabelarni prikaz je sicer vedno dosegljiv, ljudje pa podatek lažje pretvorijo v

informacijo, če je v grafični obliki. V razvoju je aplikacija, ki bo omogočala prikaz trendov v časovnem obdobju. Trenutno aplikacija omogoča prikaz dveh ali štirih soodvisnih parametrov v časovnem obdobju.

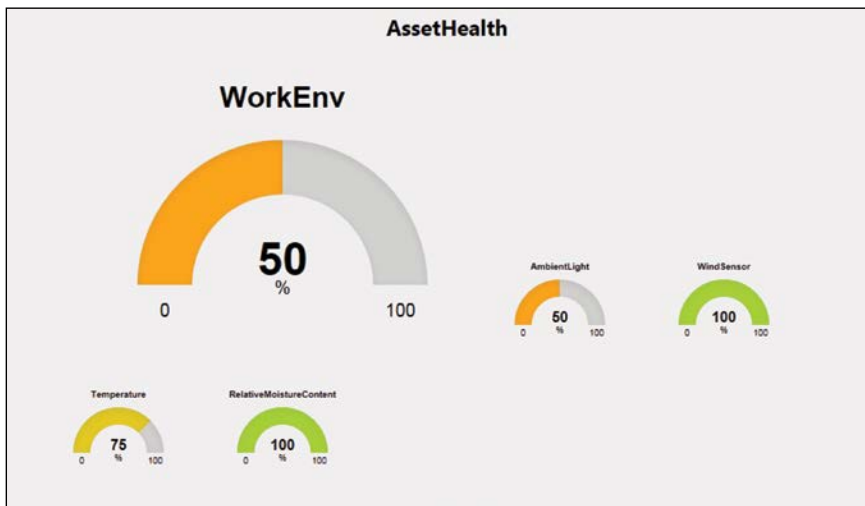
Na spodnjem grafu je prikaz meritve temperature in vlažnosti v elektroomari stroja iz tabele mevent_num_data (slika 8).



Slika 8. Meritev temperature in vlažnosti v elektroomari stroja

Tabela 1. Ocena stanja

Vrednost	Lestvica stanja (%)	Opis
1	0	najslabše stanje
2	25	slabo stanje
3	50	zmerno stanje
4	75	zelo dobro stanje
5	100	odlično stanje



Slika 9. Spletni grafični vmesnik za prikaz diagnostičnih podatkov

Diagnostika se lahko izvaja na posameznem delu opreme, delovnega okolja, stroja ali pa na celem stroju. Od tega je tudi odvisno, v katere tabele se vpisujejo diagnostični podatki.

Za diagnostiko meritev se uporabljajo naslednje tabele:

- segment_event: različni dogodki, ki so se zgodili na posameznem stroju,
- segment_health: ocene stanj na posameznem stroju,
- asset_event: različni dogodki, ki so se zgodili na posameznem delu stroja,
- asset_health: ocene stanj na posameznem delu stroja,
- sg_as_event_type: tip dogodka, ki se zgodi na posameznem stroju,
- health_level_type: seznam možnih stanj za stroj ali del stroja,
- change_patt_type: seznam možnih trendov za stanja.

V tabelo segment_event in asset_event se vnaša stroj ali del stroja in tip dogodka iz šifranta sg_as_event_type. V tabelo segment_health in asset_health se vnaša stroj ali del stroja, za katerega se določa stanje, agenta, ki določa oceno trenutnega stanja, oceno trenutnega stanja iz šifranta dbo.health_level_type in trend stanja iz šifranta dbo.change_patt_type.

Razviti programski modul diagnostičnega sistema za stalni nadzor zdravja, opreme, delovnega okolja, dela stroja ali stroja (LikiCBMAssetHealth diagnostic agent) v celoti nadzoruje izmerjene mejne vrednosti in vpisuje diagnostične podatke v tabelo za oceno stanja opreme, stroja ali delovnega okolja. Po standardu MIMOSA je definiranih pet ocen stanja opreme, stroja ali delovnega okolja (tabela 1).

Spletni grafični vmesnik (slika 9) sicer omogoča vizualizacijo do 15 različnih diagnostičnih podatkov, ki vplivajo na končno oceno stanja, vendar je zaradi preglednosti v aplikaciji omejitve na največ 7.

Podatki s senzorjev, ki se direktno zapisujejo v tabele, so potrebni, niso pa zadostni za oceno stanja stroja. Tako vzdrževalci kot tudi operaterji na stroju opravljajo razne posege, ki posredno ali neposredno vplivajo na rezultate meritev. Brez vedenja, da je bilo na stroju nekaj narejeno, bi pri analiziranju podatkov lahko

Work date	Agent name	User tag ident	Quantity	Eng. unit
Year: 2013 Month: 11 Segment name: NCV9				
28.11.2013 0:00:00	Alen Setinšek	Popravilo	1,00	Undetermined
28.11.2013 8:24:25	Dušan Dimitrijević	preventivni pregled		
28.11.2013 8:25:29	Alen Setinšek	Popravilo		
28.11.2013 11:01:04	Alen Setinšek	preventivni pregled	3,00	Liters
28.11.2013 11:01:04	Alen Setinšek	preventivni pregled	5,00	Undetermined
28.11.2013 19:27:20	Alen Setinšek	preventivni pregled	5,00	Liters

Slika 10. Prikaz seznama vzdrževalnih posegov v obliki spletnega poročila

napačno sklepali in posledično tudi napačno prognozirali. Podatkovna baza MIMOSA omogoča vnos informacij o opravljenih posegih in pri tem uporabljenih/vgrajenih materialih (slika 10).

7 Uporabnost sistema

Generičnost modela omogoča preprosto uporabo predstavljenega sistema tudi na drugih področjih, ne le na področju vzdrževanja. Prostor, kjer se hranijo produkti (arhivi, knjižnice, skladišča, vinoteke ipd.) in je treba v njih zagotavljati določeno klimo, se zelo enostavno vključijo. Moduli za on-line merjenje vlage in temperature so enaki ne glede na mesto postavitve kakor tudi vsi algoritmi. Le meje, ki določajo zdravje sistema, je treba prilagoditi konkretni zahtevi. V podjetju je bil tako zelo preprosto, brez dodatnega programiranja, z opisanimi moduli opremljen centralni arhiv.

8 Zaključek

V članku je predstavljen koncept interneta stvari in senzorskega omrežja za ocenjevanje delovnega okolja in vzdrževanja na osnovi stanja. Osnova sistema so pametna vozlišča, ki opravljajo zajem podatkov s senzorjev in njihovo osnovno obdelavo, rezultate pa pošiljajo v central-

ni sistem v hrambo in nadaljnjo obdelavo. Centralni sistem sestavljata podatkovna zbirka in aplikacija za obdelavo in prikaz podatkov. Tako na strani zajema kot na strani prikaza podatkov so uporabljene moderne tehnologije, kot so platforma .NET Gadgeter, povezava ZigBee in tehnologija ASP.NET MVC z vmesnikom ORM za izdelavo spletnega grafičnega vmesnika, kar omogoča dostop tudi z mobilnimi napravami. Sistem je fleksibilen, omogoča enostavno prilagajanje potrebam uporabnika in je enostavno razširljiv tako z novimi senzorji kot na nova področja uporabe. Preverja posamezne parametre glede na postavljene mejne vrednosti in z elektronsko pošto in/ali SMS-sporočili obvešča o odstopanjih. V trenutni verziji aplikacije je osnova za napoved bodočega stanja trend izmerjenih vrednosti. Sistem po določenem času delovanja omogoča analiziranje medsebojnih vplivov merjenih vrednosti na obnašanje opazovanega objekta. Rezultati analiz so osnova za razvoj algoritmov za napovedovanje zdravja. Razvoj algoritmov, ki bodo že ob manjših odstopanjih merjenih vrednosti, ki so sicer v dopustnih mejah, zaznali možne težave in to upoštevali pri ocenjevanju zdravja, je potreben in predstavlja izziv za nadaljnje razvojno raziskovalno delo.

Viri.

- [1] A. Crespo Marquez and N. D. Jatinder Gupta. "Contemporary maintenance management: process, framework, and supporting pillars." *Omega – The International Journal of Management Science*, vol 34, pp. 313–326, 2006.
- [2] M. Gašperin, Đ. Juričić, P. Bošković, J. Vižintin. Model-based prognostics of gear health using stochastic dynamical models. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 25, No. 2, str. 537–548, 2011.
- [3] Microsoft Research .NET Gadgeteer (2013) Available at <http://research.microsoft.com/en-us/projects/gadgeteer/> (accessed: 18 June 2014).
- [4] MIMOSA (2013) Open System Architecture for Enterprise Application Integration V3.2.3. Available at <http://www.mimosa.org/> (accessed: 18 June 2014).
- [5] Fielding RT (2000) Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, PhD dissertation, University of California, Irvine.
- [6] Senzorska omrežja za ocenjevanje delovnega okolja, Litostroj-Power, d. o. o., Odsek za sisteme in vodenje, Institut Jožef Stefan. Available at http://www.kcstv.si/wp-content/uploads/2014/01/5-nii52_litostroj_SI.pdf.

Internet of Things and Sensor Networks for Assessment of Work Environment and Condition-based Maintenance

Abstract: As a rule, the companies that manufacture machinery still have a reactive and sometimes preventive approach to maintenance, which is out-of-date and has proven inefficient. The purpose of our project is to lower maintenance costs and loss due to defects by using new technologies and introducing condition-based maintenance. The system for the assessment of work environment and condition-based maintenance has been developed in accordance with ISO13374, IEEE1451, OSA-CBM and OSA-EAI standards. It is an independent module which allows integration into existing systems. The basic parts are smart nodes composed of a microcontroller, analog-digital transducer, various sensors, an interface and a power supply module. The function of a smart node is the acquisition of data collected by the sensors, data processing with the use of mathematical methods, and sending the results to the interface. The parts are interrelated within a sensor network with different communication technologies. This paper focuses on the solutions for the measurement of work environment parameters, which are an additional input in the algorithms for condition assessment. Such sensor networks for the measurement of environmental parameters can also be used for work environment condition assessment as defined in the Occupational Health and Safety Act. More precisely, our system enables the monitoring, supervision and evaluation of work environment parameters and signalization of deviations with the same methods that are used in the actual observation of the condition of machinery and equipment, which makes it applicable to other areas, such as archives, storerooms, etc. The presented system has been developed in collaboration with partners from the Modern Management Technologies Competence Center.

Key words: condition-based maintenance, smart nodes, sensor networks, measurement of environmental parameters