

# Uplatnění internetu věcí v monitorování výroby a v měření a řízení spotřeby energií

Termín internet věcí (*Internet of Things – IoT*) se v poslední době vyskytuje v oboru informační a komunikační techniky (*Information and Communication Technology – ICT*) stále častěji. Prostředky pro IoT jsou na trhu již několik let, nicméně až v současnosti lze zaznamenat skutečně zásadní rozmach tohoto odvětví v souvislosti s novými technickými možnostmi v oblasti pokročilých jednočipových počítačů (*Microcontroller Unit – MCU*) a v oblasti nízkoeenergetického radiofrekvenčního bezdrátového přenosu dat.

Článek se zaměří na základní popis internetu věcí a na nejčastější oblasti průmyslu, ve kterých se v současnosti prosazuje. Bude podrobněji rozebírat monitorování efektivity výroby, prediktivní údržbu, monitorování spotřeby energií, monitorování environmentálních veličin a také neinvazivní notificační systémy a na závěr bude zmínka o využití IoT v systémech SIDAS IEM a SIDAS OEE od firmy Sidat.

## Úvod

S pojmem internet věcí, uváděným pod zkratkou IoT (*Internet of Things*), se lze v poslední době setkat doslova na každém kroku. Objevuje se nejen v odborných textech, ale také v mnoha běžných komunikačních médiích určených pro širokou veřejnost. Oborem IoT se zabývá mnoho diskusních fór a odborných skupin na internetu určených zejména pro nadšence z oblastí hobby elektroniky, ale rovněž pro odborníky z oboru. Z internetu věcí se stal módní pojem, a tak každý, kdo publikuje cokoliv z oblasti digitalizace a automatizace, musí fenomén IoT alespoň rámcově zmínit. S pojmem internet věcí úzce souvisí digitalizační doktrína známá jako průmysl 4.0, která se stala velmi módní záležitostí a zmínku o ní nevynechá žádný populární text na téma digitalizace. Tento marketingový rozměr celé digitalizace má za cíl přitáhnout pozornost široké veřejnosti a nasměrovat toky financí tímto směrem.

Digitalizační aktivity jsou také předmětem několika významných dotačních programů Evropské unie, což umožnilo vznik mnoha nových start-upů zabývajících se oblastí digitalizace a IoT. Kombinace zájmu veřejnosti a dotační politiky EU jim zajistí potřebné finanční prostředky pro rozvoj nástrojů pro digitalizaci, IoT z toho nevyjímá.

Z technického pohledu je oblast internetu věcí velmi rozmanitá a složitá. Řeší se problematika radiofrekvenčního bezdrátového přenosu dat včetně jeho zabezpečení, otázky komunikačních protokolů a vrstev a spolupráce různých softwarových utilit a nástrojů. Další významnou oblastí k řešení je zpracování získaných dat, jejich archivace, vyhodnocení a prezentace výstupů. Celkově jde o komplexní problematiku, která zahrnuje několik jednotlivých oblastí, z nichž každá je samostatným specializovaným oborem. Cílem je sladit všechny jednotlivé prvky do jednoho funkčního celku a vytvořit pro něj jedno-

duché a uživatelsky přátelské rozhraní, které skrývá složitost pod povrchem jako v černé skřínce a poskytuje tak uživateli nezávislost na složité technické podstatě platform IoT.

## Architektura IoT

Na úvod této kapitoly je třeba vymezit obsah pojmu IoT: internet věcí je systém skládající se z počítačů a elektronických zařízení, které spolu komunikují pomocí datové sítě a vyměňují si data na bázi internetu bez účasti člověka. Základními prvky architektury IoT v pojetí třívrstvého modelu IoT jsou:

- věci (IoT hubs): jednodeskové nebo jednočipové mikropočítače (SBC – *Single Board Computers*, MCU – *Microcontroller Units*), senzory a sledovaná zařízení,
- datová síť: např. LoRaWAN nebo jiné sítě v pásmu 868 MHz, NB-IoT, Sigfox, BLE, Ethernet, WiFi,
- cloud + počítače s připojením do internetu: datová úložiště, servery, stolní počítače, notebooky, tablety, chytré telefony, chytré hodinky apod.

## Datová architektura IoT

Zdrojem dat v IoT jsou již zmíněné „věci“. Jednotlivé věci generují malé množství dat, která obsahují hodnoty sledovaných veličin, jako jsou teplota, vlhkost, poloha či signál obsluhy. Tyto jednotlivé informace z malého počtu senzorů jsou označovány jako „malá data“ (*small data*) a zabírají desítky až stovky bajtů. Tato malá data jsou však generována obrovským množstvím věcí po dlouhou dobu a drobné proudy dat se na úrovni cloudu skládají do velkých databázových struktur, které pak tvoří „velká data“ (*big data*). Za určitý čas je na úrovni cloudu nashromážděna velká datová základna, která teprve umožní „chytro“ analýzu získaných informací a dokáže z nich vytěžit znalostní bázi dovolující porozumět problému a vytvářet smysluplné

závěry k lepšímu řízení a kontrole sledovaných zařízení. Takto může probíhat dlouhodobá analýza hodnot ze snímačů a sledování událostí a jejich následné propojení s akcemi upravujícími chod sledované soustavy. O využití IoT v různých oblastech a zejména v průmyslu bude pojednáno dále.

## Základní principy IoT

Data získaná ze senzorů či zadaná uživatelem je v prvním kroku třeba vhodným způsobem přenášet k dalšímu zpracování. K tomu jsou využívány datové sítě. Síť známé ze světa IT, jako je Ethernet všelikého provedení či jeho bezdrátová podoba WiFi, se do světa IoT příliš nehodí. Tyto sítě se uplatní až v nejvyšší vrstvě na úrovni cloudu a informačních systémů, pro které jsou primárně určeny. Jako přenosové sítě mezi věcmi a cloudem se používají specializované sítě, které respektují specifické potřeby světa IoT.

## Datové sítě IoT

Mezi klasické sítě a protokoly patří kromě Ethernetu a WiFi také bezdrátové sítě standardu Bluetooth. Ten byl původně určen pro bezdrátové připojení různých periférií, jako jsou sluchátka, mikrofony, klávesnice, myši atd., k PC, tabletům, chytrým telefonům či hodinkám nebo k propojení mezi nimi navzájem. Nově vyvinutý systém BLE (*Bluetooth Low Energy*) umožní komunikaci na vzdálenosti až desítek metrů a kromě připojení myši a sluchátek k počítači se prosadil též v průmyslu. Používá se k připojení různých měřicích přístrojů nebo PLC k PC, tabletu či mobilu. Tento systém se tak stal jednou z prvních sítí pro IoT, ačkoliv pro to nebyl původně určen.

Kromě BLE se jako sítě krátkého dosahu pro IoT používají ZigBee, Z-Wave, Thread, Cellular a jiné radiofrekvenční systémy pracující typicky v pásmu 868 MHz. Označení 6LoWPAN znamená, že jde o bezdrátové sítě, které jsou kompatibilní s IPv6 (*IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network*).

V posledních několika letech se v souvislosti s rozšířením IoT začaly prosazovat nové bezdrátové sítě přímo navržené pro jeho potřeby. Jde o uživatelsky jednoduché a energeticky nenáročné, ale velmi účinné bezdrátové sítě s relativně dalekým dosahem, který nejen umožní komunikaci v budově či v areálu, ale dovolí i připojit zařízení na vzdálenost jednotek až několika desítek kilometrů. Přitom je třeba miniaturizovat síťový hardware na úro-

veň čipů a hybridních integrovaných obvodů. Tyto sítě, které jsou označovány LPWAN (Low Power WAN), otevírají možnost pokrýt určitý region signálem operátora IoT podobně jako u mobilních telefonů. Zatímco je mobilní telefon třeba nabíjet víceméně denně, IoT zařízení v síti LPWAN může pracovat při napájení z baterie až několik let.

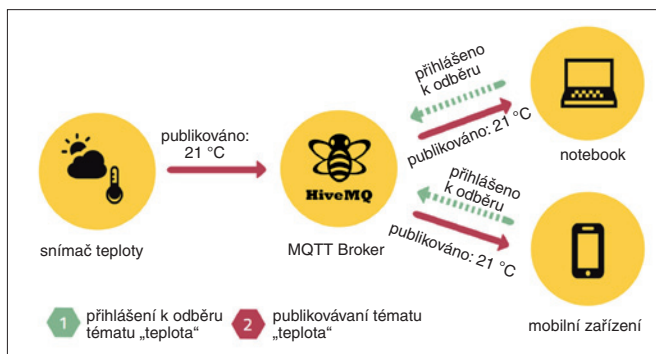
### Platformy IoT a jejich principy

Platforma IoT zahrnuje hardwarovou, softwarovou a síťovou část zajišťující sběr signálů ze sledovaných zařízení, připojení do sítě a komunikaci zařízení IoT. Kromě energetické úspornosti při zachování velkého výpočetního výkonu je kladen důraz také na zabezpečení informací. To je zajištěno ověřením identity zařízení IoT a uživatelů, správou přístupových práv a šifrovanou komunikací jak na úrovni radiofrekvenčního přenosu, tak zejména v internetu.

Komunikace zařízení IoT se systémy sběru dat je řešena jiným způsobem, než je obvyklé rozhraní OPC UA mezi PLC a nadřazeným systémem v architektuře klient-server (request/response, žádost/odpověď). Ve světě IoT se komunikace odehrává formou zasílání zpráv. Využívá se komunikační architektura označená jako *broker/subscriber* (volně přeloženo makléř/přihlášený příjemce) nebo také *publisher/subscriber* (vydavatel/přihlášený příjemce). Zařízení snímají údaje ze senzoru dané fyzikální veličiny a publikují data formou zpráv do centrálního místa sběru dat v cloudu, které se nazývá *broker*. Další prvky infrastruktury, jež mají o zprávy zájem, se přihlásí k jejich odběru jako *subscriber*, přičemž mají možnost si ze všech došlých zpráv vybírat jen ty, které je zajímají. Zprávy od zařízení IoT jsou opatřeny atributy se stromovou hierarchií, která řadí zprávu do určité kategorie. *Subscriber* si potom vybírá jen jednotlivé typy zpráv nebo určitou podmnožinu danou pozicí ve stromové struktuře kategorií. Zařízení IoT posílá zprávy buď na základě pravidelného cyklického předpisu, nebo na základě událostí (např. při zvýšení teploty o určitou hodnotu). Zařízení publikuje zprávu s aktuální hodnotou teploty prostřednictvím centrální aplikace *broker*, která ji distribuuje přihlášeným příjemcům. Princip této komunikace je znázorněn na obr. 1.

Již bylo uvedeno, že pro komunikaci v infrastruktuře IoT se používají protokoly, které jsou datově úsporné, což umožňuje dosáhnout úspory energie, jež je důležitá zejména u zařízení napájených z baterie, a které také počítají s možností přerušovaného připojení.

K nejznámějším standardizovaným protokolům patří MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Jde o jednoduchý a datově nenáročný protokol pro předávání zpráv mezi zařízeními a klienty založený na principu *publisher/subscriber*. Protokol byl uveden firmou IBM už v roce 1999 pro datové spojení ze vzdálených míst, kde se počítá s malou přenosovou rychlostí, odstávkami a výpadky spojení a zařízeními s malým výpočetním výkonem napájenými z baterie. Pro komunikaci je možné zvolit požadovanou úroveň kvality služby (QoS) pro garanci doručení zpráv.



Obr. 1. Architektura komunikace publisher-subscriber

Za zmínku stojí ještě zajímavá možnost kombinace tradičního způsobu komunikace PLC se zařízeními IoT prostřednictvím rozhraní OPC UA s využitím protokolu MQTT. Někteří výrobci rozhraní OPC UA přišli v nedávné době s možností integrovat do rozhraní OPC UA protokol MQTT podobně, jako jsou tam integrovány ovladače od různých výrobců PLC. Tímto způsobem se dosáhne velmi žádoucí standardizace přístupu k datům pro nadřazené IT systémy. Na dolní úrovni přicházejí data od PLC a od celé škály různých zařízení IoT komunikujících pomocí MQTT. Na horní vrstvě informačního systému jsou všechna data jednotně prezentována formou proměnných (tagů)

a čtena standardními metodami rozhraní OPC UA. Podobně se používá možnost komunikace MQTT mezi serverem OPC UA a klienty MQTT na straně internetového cloudu, kdy se tímto způsobem získá možnost ukládat data opatřená pomocí OPC UA do cloudu pro IoT.

### Základní vlastnosti sítí LPWAN

Základní vlastnosti sítí pro IoT jsou určeny klíčovými technickými parametry, které předurčují určitý typ sítě k danému použití. Volba komunikačního systému je průnikem všech parametrů s požadavky dané úlohy.

Jde o následující parametry:

#### Přenosová rychlost

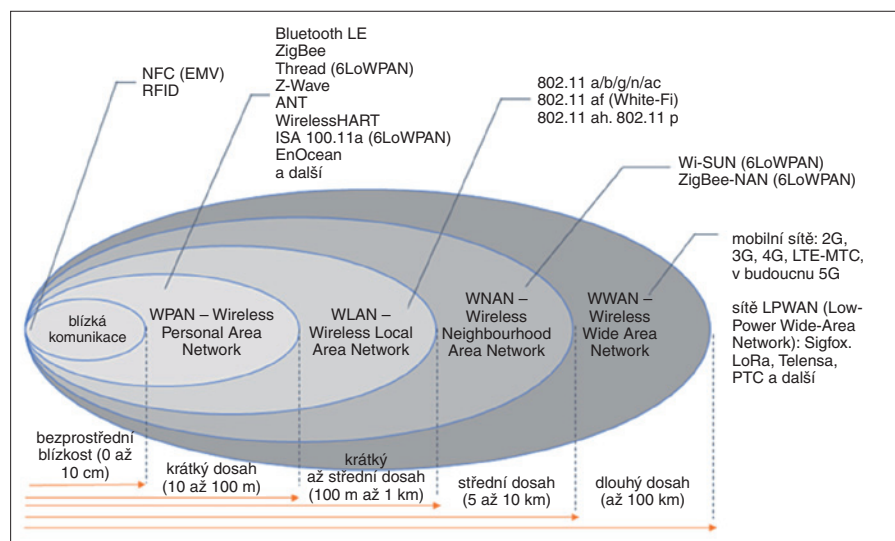
Na přenosové rychlosti závisí, kolik bajtů je možné poslat a jak dlouhé musí být časové okno pro vysílání. Například u sítě Sigfox se používají velmi krátké zprávy (do 12 B), jejich počet je malý (do 144 zpráv za den) a přenosová rychlost je 100 b/s.

#### Spotřeba energie

Spotřeba energie je důležitá zejména pro zařízení, která jsou napájena z baterie. Například u zařízení, kde má lithiový primární článek LiSoCl<sub>2</sub>, 3,6 V/5 800 mA-h výdrž jeden až tři roky, vydrží dobíjecí Li-Po baterie tři až čtyři týdny, než je nutné ji dobít z externího zdroje 6 až 28 V DC (externím zdrojem může být např. fotovoltaický článek). Některá zařízení IoT mohou být napájena z externího zdroje ze sítě bez záložní baterie. Ušetří se tím za údržbu baterie, ale ztratí se nezávislost na připojení k napájecí síti.

#### Dosah

Data jsou přenášena na vzdálenost od několika metrů až po několik kilometrů, viz obr. 2.



Obr. 2. Dosah komunikačních systémů IoT

Z hlediska geografického rozsahu se síť dělí na tyto skupiny:

- privátní síť pro lokální pokrytí – areál závodu, výrobní hala (např. LoRaWAN má dosah v průmyslových závodech stovky metrů, ve volné krajině až 30 km),
- veřejné síť s globálním pokrytím (např. Sigfox).

### Frekvence

V každé oblasti mohou být ke komunikaci k dispozici různé frekvence.

### Současná nabídka sítí LPWAN pro IoT v Česku

V současnosti se v České republice pro IoT používají tyto LPWAN:

- LoRaWAN – dobré pokrytí veřejnými operátory (ČRa, TTN), možnost výstavby vlastního lokálního vysílače a lokální sítě, dobrý průnik do budov,
- Sigfox – dobré pokrytí, mezinárodní přesah v EU (síť vznikla ve Francii v roce 2009),
- NB-IoT – výborné celoplošné pokrytí sítí mobilních operátorů (jde o subpásmo LTE), dobrý průnik do budov,
- WMBus 868 MHz nebo 169 MHz – místní pokrytí lokálními vysílači pro dálkové odečty energií, výborný průnik do budov včetně podzemních technologických prostorů.

### Hlavní typy sítí používané v průmyslu

Pro použití IoT v průmyslovém prostředí se z nepřeberného množství možných variant prosadily tři hlavní a nejvíce používané sítě popsané v následujících odstavcích.

#### LoRaWAN – privátní (lokální) síť

Síť LoRaWAN využívají výhodné možnosti postavit lokální vysílače a další potřebnou infrastrukturu přímo v areálu závodu, viz obr. 3.

#### LoRaWAN – veřejná síť

Jde-li o projekt s rozsáhlým, až celostátním pokrytím, je možné s výhodou využít služby operátora LoRaWAN s celoplošným pokrytím (obr. 4)

#### NB-IoT – veřejná síť

Síť NB-IoT mají celoplošné pokrytí. Jsou provozovány mobilními operátory v subpásmu datového přenosu LTE. Z principu jsou vždy veřejné a jejich základní architektura je podobná veřejné síti LoRaWAN, viz obr. 5.

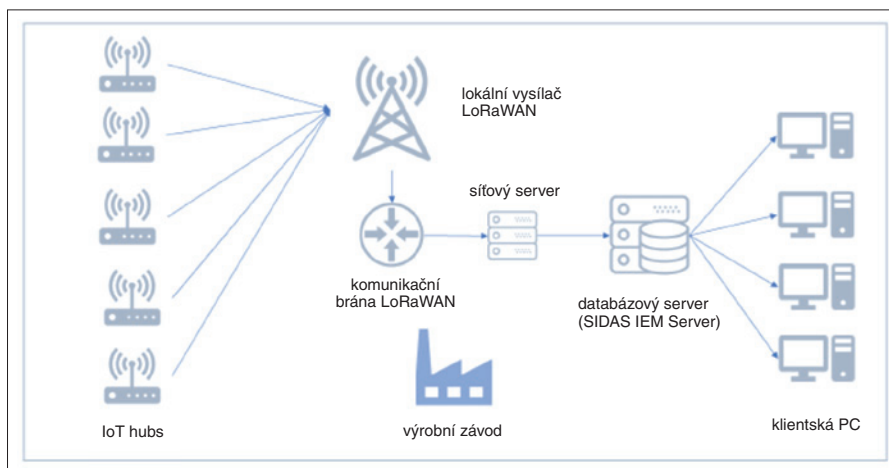
### Oblasti použití IoT v průmyslu i mimo něj

Cílem využití IoT v průmyslu je sbírat data z výrobních zařízení a pomocí datové analýzy dosáhnout vyšší efektivity výrob-

ních procesů. Zařízení IoT obvykle disponují velmi výkonnou procesorovou jednotkou (MCU), která umožňuje provádět základní část zpracování dat včetně složitých výpočtů s naměřenými hodnotami (*edge analytics*) přímo v těchto zařízeních. Dále lze MCU v zařízeních IoT využít k provádění akčních zásahů (byť v tomto ohledu je zapotřebí určitá opatrnost), čímž mohou převzít

### Měření OEE (*Overall Equipment Efficiency*)

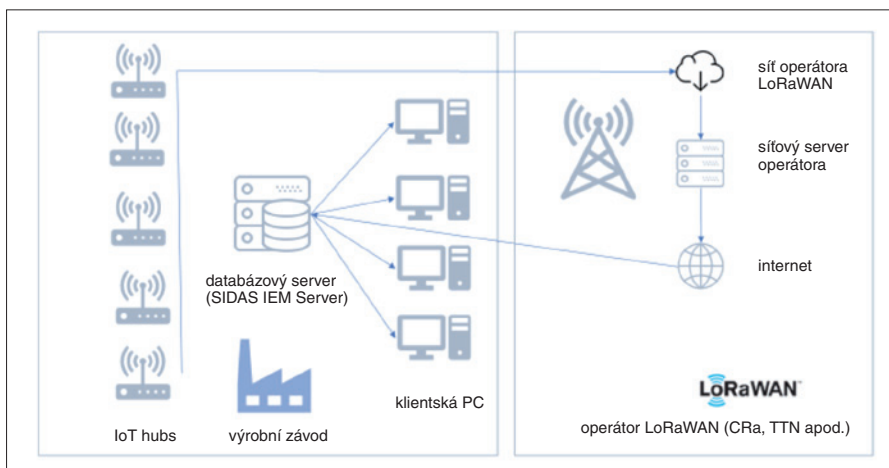
Měření celkové efektivity zařízení – OEE – je jednoduše aplikovatelné a často se vyskytující využití IoT. Pomocí vestavěných či dodatečných senzorů jsou detekovány stavy stroje (vyrábí/nevyrábí/odstávka/porucha/seřízení/přestavba/údržba apod.). Dále je měřen



Obr. 3. Privátní (lokální) síť LoRaWAN

(částečně) úlohu klasických PLC. Vzhledem k nízké ceně zařízení IoT je možné je využít v hromadném měřítku přímo u každého výrobního zařízení a kromě sběru dat provádět lokální autonomní řízení nekritických (podpůrných) procesů. V případě platform IoT je třeba mít na paměti, že vzorkovací frekvence je z dříve zmíněných „energetických“ důvodů velmi omezená, a tudíž při provádění akčních zásahů vzniká zpoždění. Na úrovni firmwaru MCU lze nakonfigurovat chování při defi-

takt výroby s pomocí měření výrobního cyklu stroje a počty vyrobených kusů. Z těchto dat se vypočítají parametry efektivity využití výrobních zařízení, které je možné online prezentovat na počítačích mistrů a managementu včetně možnosti zobrazení na mobilních zařízeních, např. v chytrém telefonu či tabletu. Výstupem mohou být grafy prostojů, procento využití výrobních zařízení, čas výrobního cyklu, počty kusů aj. Internet věcí přinesl možnost sledovat a řídit produktivitu



Obr. 4. Veřejná síť LoRaWAN

novaných událostech a tím zajistit okamžitou reakci na změnu vstupních veličin, ovšem ne všechny platformy IoT to umožňují a není to triviální uživatelská úloha.

Platformy IoT jsou používány v mnoha průmyslových i obecných úlohách, o nichž bude pojednáno v následujících odstavcích.

výroby strojů, u kterých to doposud nebylo možné z důvodu stárí stroje nebo nepřiměřeně vysokých nákladů na implementaci sledování OEE přímo od výrobce stroje. Zařízení IoT umožní provést upgrade z obyčejného stroje na „chytrý“ stroj za vynaložení velmi nízkých pořizovacích a provozních nákladů.

Internet věcí je nově od letošního jara implementován také do systému SIDAS OEE, který firma Sidat již přes patnáct let nabízí svým zákazníkům, a je tedy možné již nyní integrovat do něj zařízení IoT a tím velmi zlevnit náklady na instalace.

### Měření a řízení spotřeby energií IEM (Intelligent Energy Management)

Měření a řízení distribuce a spotřeby energií je druhá nejčastější úloha, kterou lze řešit pomocí platformy IoT. Využití některé z platformy IoT pro stávající měřidla spotřeby je velmi jednoduché, stačí využít výstupy integračních pulzů. Zařízení IoT kromě toho dokážou prostřednictvím analogových vstupů MCU jednoduše snímat napěťové i proudové signály (např. 0 až 10 V, 4 až 20 mA). Čtení okamžitých hodnot však naráží na omezenou vzorkovací frekvenci zařízení IoT a prezen-

Společnost Sidat rozšířila svůj produkt SIDAS IEM o rozhraní na moduly IoT, podobně jako u SIDAS OEE, a umožňuje připojení různých typů zařízení IoT.

### Další oblasti využití IoT zařízení

Platformy IoT se využívají v mnoha průmyslových i neprůmyslových odvětvích. Kromě popsaných v oblasti užití v průmyslu v nejlépe využívaných úlohách OEE a IEM zmíníme několik dalších zajímavých oblastí, kde lze IoT s výhodou použít.

### Monitorování stavu zařízení na dálku

Technologická zařízení mohou být v mnoha případech umístěna v odlehklých místech nebo na geograficky rozsáhlém území. Zařízení IoT napájená bateriově a využívající některou ze sítí LPWAN mohou vyřešit moni-

mální chování a včas zabránit neočekávanému výpadku výroby. Vibrace, teplotu motorů a další informace je možné sledovat během pár minut a rozhodovat se o prioritách v údržbě na základě aktuálních dat místo preventivní údržby v pravidelných intervalech nebo reaktivní údržby po poruše. Internet věcí umožnil získávat data efektivně a posílat je ihned do cloudu k vyhodnocení.

### Bezdrátové tlačítkové systémy

Umístěním bezdrátového tlačítkového systému ve výrobních prostorech je možné výrazně zrychlit a zpřesnit průběh technologických procesů. Stisk tlačítka může zajistit přivolání obsluhy, nahlášení poruchy nebo evidovat počet vadných kusů ve výrobě. Internet věcí poskytl možnost umístit zařízení s tlačítky kdekoli a podle potřeby jejich místo měnit.

### Další možnosti

Dalších možností využití internetu věcí je bezpočet. Umožňuje např.:

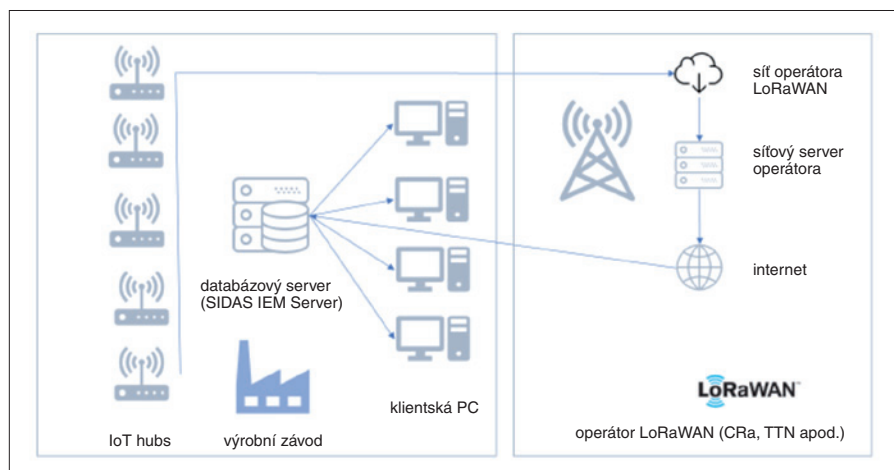
- zabezpečit materiál a výrobky sledováním a detekcí nepovoleného pohybu, manipulace a krádeží,
- sledovat výšku hladiny a zaplnění v nádržích, jímkách, silech,
- detekovat únik plynů a vody nebo zaplavení vodou,
- detekovat polohu, pohyb a manipulaci se stroji a jinými mobilními zařízeními pomocí GPS a popř. také akcelerometru.

### Závěr

S použitím IoT je možné řešit mnoho průmyslových i obecných úloh monitorování zařízení a měření spotřeby energií a dalších různých veličin. Implementace vhodné platformy IoT je rychlá, efektivní a neinvazivní. Internet věcí může být pro danou úlohu cílovým řešením či jen metodou pro ověření realizovatelnosti projektu (*proof of concept*). Díky IoT je možné začít rychle a jednoduše a ověřit si funkčnost a přínosy budoucího cílového řešení. Cílem využití IoT je získávání výrobních i nevýrobních dat a v dalším kroku je možné přistoupit k integraci takto získaných dat do systémů řízení výroby (MES), ekonomických systémů (ERP), nástrojů pro vizualizace procesů (HMI/SCADA), digitálních dvojčat (*digital twins*) výroby či výrobních zařízení, do pokročilých analytických nástrojů Business Intelligence (BI) či do systémů PLM. Dostatek kvalitních dat o výrobních procesech, jejich efektivitě a energetické náročnosti napomůže dalšímu růstu.

Produkty společnosti Sidat, SIDAS OEE a SIDAS IEM, od letošního jara podporují tento směr a jsou již nyní využívány v prvních úspěšných projektech.

Vladimír Špùrek, SIDAT



Obr. 5. Veřejná síť NB-IoT

tace okamžitých hodnot, která je třeba v systémech HMI/SCADA, zde není možná. Lze nastavit událostní princip, kdy se zařízení „probudí“ z režimu spánku (*sleep mode*) při výskytu lokálního extrému měřené veličiny, ale to vyžaduje zvláštní přístup k řešení, jak bylo zmíněno dříve. O něco složitější je nastavení datové komunikace prostřednictvím průmyslové sběrnice (nejčastěji po lince RS-422/485 a protokolem Modbus RTU). Komunikace při použití klasických průmyslových sběrnic a Ethernetu (např. protokolem Modbus TCP) už vyžaduje speciální (a dražší) vybavení platformy IoT a není již tak efektivní. Zvláštním případem je čtení sběrnice M-Bus, která je velmi efektivní pro místní odečty odběru energií z mnoha připojených měřidel, ale zároveň relativně složitá na komunikaci na poněkud atypické napěťově-proudové sběrnici. V tomto případě je velmi výhodné použít některý z dostupných průmyslových převodníků sběrnic s vnitřní pamětí (M-Bus/Modbus Gateway) a redukovat tuto relativně složitou komunikační úlohu na jednoduché čtení registrů sběrnice Modbus na sériovém rozhraní RS-422/485.

torování stavu těchto zařízení. Stejně tak je možné tímto způsobem měřit spotřebu a dodávku energií v zařízeních, jako jsou studny na pitnou vodu, vrty, alternativní zdroje energie apod.

### Monitorování podmínek pracovního prostředí

Příliš vysoká teplota, relativní vlhkost, prašnost – to vše může ovlivnit výslednou kvalitu produktů i komfort a zdraví výrobního personálu. Internet věcí umožnil tyto a další podmínky měřit jednoduše a efektivně bez kabeláže. Využití najde v monitorování ideálních podmínek pro skladování potravin nebo v průmyslu, kde lze zabránit korozi materiálu a výrobků. Stejným způsobem lze přenášet hodnoty dalších fyzikálních veličin – počtu prachových částic, koncentrace oxidu uhličitého nebo organických těkavých látek.

### Prediktivní údržba

Dlouhodobým sledováním strojů, zařízení a okolního prostředí lze identifikovat ano-