



Průmysl 4.0 – aktuální výzvy pro energetiku

Vladimír MAŘÍK

Praha, 21.11.2017

www.ciirc.cvut.cz

**Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRC)
České vysoké učení technické v Praze**





- ✓ Začíná se tedy dnes hovořit o **nové průmyslové revoluci s dopadem na celou společnost**
 - ✓ První explicitně vyjádřenou vládní iniciativou **na podporu nové průmyslové revoluce je německá Industrie 4.0**
 - ✓ **Vize poprvé prezentována na Hannover Fair 2011:**
Komputerizace průmyslové výroby
 - ✓ **Výrazně technologicky upravený dokument představen na Hannover Fair 2013:**
Kageman, Wahlster, Lukas – ved. prac. skupiny zaměřené na distribuované systémy, metody samooptimalizace, automatizované rekonfigurace, autodiagnostiky, strojového vnímání a inteligentní podpory dělníka
- V roce 2017:** od automatizované linky **k učící se adaptivní lince**, od chytré továrny **k chytrému produktu** a zejména **chytré službě** – vše navázáno na IoT → **AUTONOMNÍ SYSTÉMY**





Hlavní myšlenka:

Počítačovým propojením

- ✓ výrobních strojů,
- ✓ opracovávaných produktů a polotovarů
- ✓ všech osob zapojených do procesů (prostřednictvím rozhraní)
- ✓ všech dalších systémů a subsystémů průmyslového podniku

vytvořit **inteligentní distribuovanou síť různorodých entit** podél celého řetězce vytvářejícího hodnotu, přičemž subsystémy pracují relativně autonomně a paralelně, navzájem dle potřeby komunikují – každý fyzický systém má své **virtuální dvojče či virtuální obraz** ve virtuálním světě

Propojení internetu věcí a internetu služeb =

vytvoření **kyberneticko – fyzického prostoru**, v němž jsou už jen nejasné hranice mezi reálnem a virtuálním, které se dle potřeby posouvají

Postupně se objevuje **třetí dimenze**, kterou nelze ignorovat:

vedle dvou technologicky orientovaných světů, **fyzického světa**

výrobního a virtuálního světa služeb je třeba počítat i se **světem sociálním**, který začíná s oběma technologickými silně interagovat





Integrovaný výrobní systém chápaný jako kyberneticko-fyzický systém je **systémem velmi složitým**, který lze řídit pouze na základě principů důsledné **decentralizace, asynchronní adresné komunikace a koordinace.**

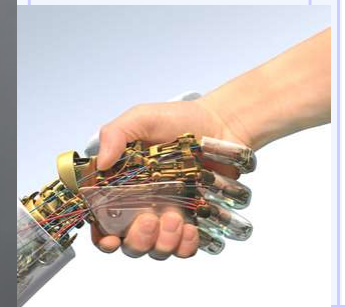
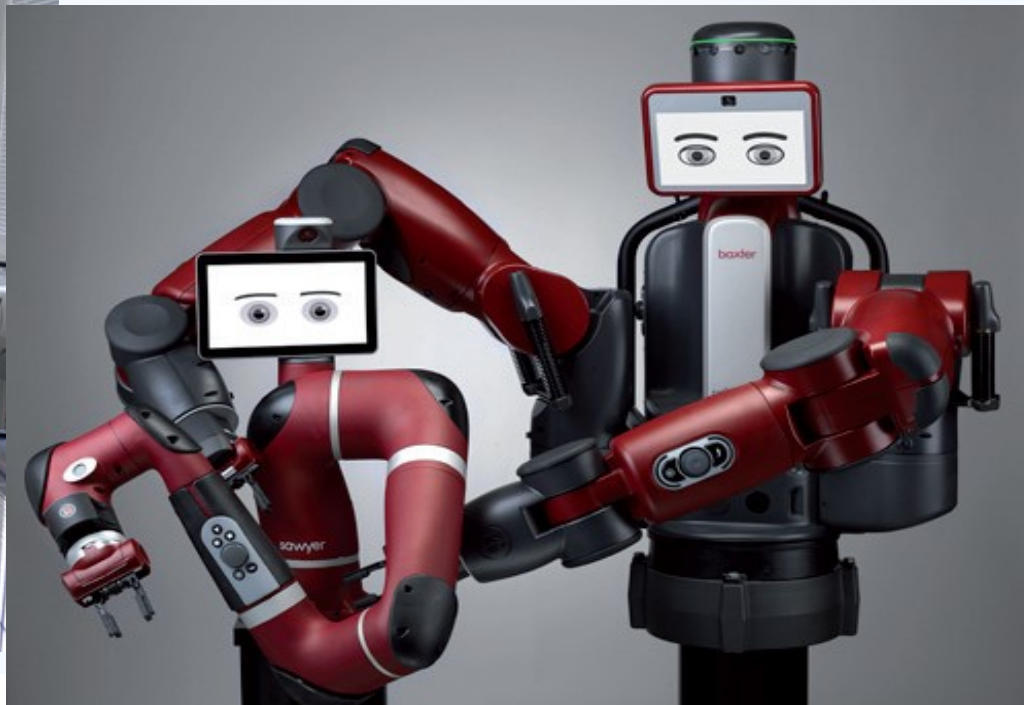
Trojí znalostně orientovaná integrace průmyslových systémů:

- **Integrace horizontální (hodnotového řetězce)** – tedy plná počítačová integrace (nikoliv pouhé propojení informačních systémů!!) zabezpečující vše od podání objednávky, přes zásobovací řetězec, vývoj, výrobu až k expedici a distribuční síti
- **Integrace vertikální (vnitropodniková)** – znalostně podporovaná integrace od úrovně řízení v reálném čase, přes plánování a rozvrhování výroby a ERP systémy až k rozhodování na nejvyšší úrovni
- **Integrace inženýrské podpory (životního cyklu)** napříč celým inženýrským řetězcem – od výzkumu, vývoje, prototypování, rozvrhování výroby až po ošetření celého životního cyklu výrobku



Roboti a lidé v systémech Průmysl 4.0

- **Lidé** vstupují prostřednictvím specializovaných rozhraní, čím dál častěji založených na virtuální realitě, jako další **autonomní entity**
- **Průmysloví roboti první generace** jsou nahrazovány **roboty kooperativními**, schopnými spolupracovat s člověkem, někdy dokonce simulujícími emoce... **roboti vylézají z klecí... nová role robotů**



Totální prosít'ování



Úplně **stejná filosofie** Industry 4.0 může být využita v

- Technologické přípravě výroby
- Plánování a rozvrhování kdekoliv, včetně logistiky
- Řízení dodavatelského řetězce
- ERP komunikaci
- Při řízení životního cyklu výrobku
- Při zabezpečování zdrojů (energetických, surovinových atd.)

a všechny tyto systémy mohou být totálně propojeny v rámci jediné inteligentní sítě



➔ **Totální inteligentní prosít'ování**
všech aktivit spojených s průmyslovou výrobou



Klíčové vize **prosítovaných** inteligentních systémů



- a) Decentralizace a lokální autonomie:** rozhodování a řízení probíhá autonomně a paralelně v jednotlivých subsystémech
- b) Interoperabilita a konektivita:** schopnost kyberneticko-fyzických systémů, lidí a všech komponent podniku vzájemně komunikovat prostřednictvím IoT a IoS
- c) Virtualizace:** schopnost propojování fyzických systémů s virtuálními modely a simulačními nástroji, schopnost vytváření SW dvojčat a blockchainů
- d) Orientace na služby:** preference výpočetní filosofie nabízení a využívání standardních služeb, to vede na architektury typu SOA (Service Oriented Architectures), nověji tzv. mikro-slужeb
- e) Schopnost pracovat v reálném čase:** dodržení požadavku reálného času je klíčovou podmínkou pro libovolnou komunikaci, rozhodování a řízení v systémech reálného světa
- f) Modularita a rekonfigurabilita:** systémy by měly být maximálně modulární a schopny autonomní rekonfigurace na základě automatického rozpoznání situace
- g) Masívní využívání metod umělé inteligence,** adaptace, učení z velkých dat, hledání optimálních řešení → **2.vlna** revoluce





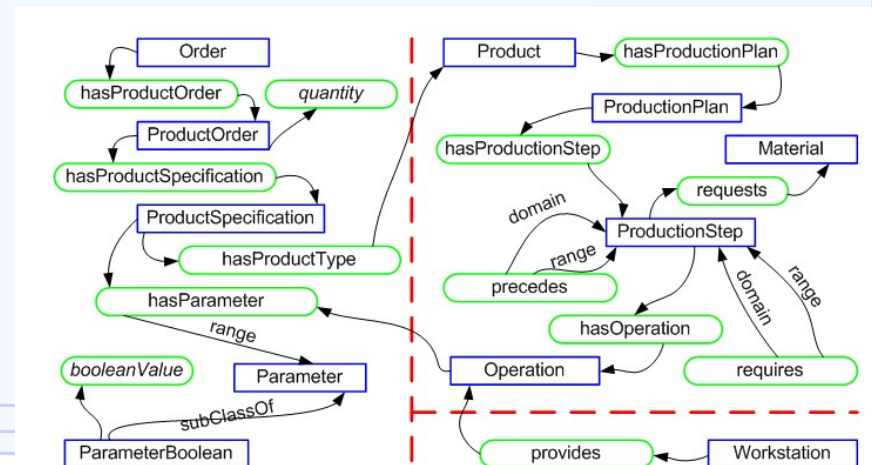
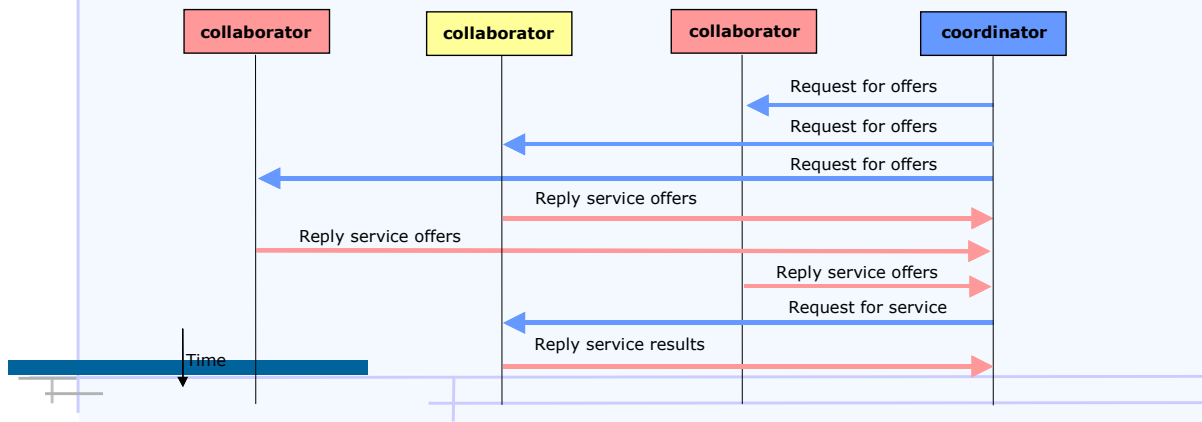
Klíčové vize – Složitě systémy jako systémy agentní

Každý stroj, transportní zařízení, poloproduct, výrobek, oddělení atd. reprezentovány ve virtuálním světě jako autonomní entita = **SW agent**

Agenti:

- Obsahuje všechnu informaci o daném elementu (**data container, semantic memory, embedded memory**)
- Komunikují mezi sebou, jen když je třeba
- Schopni se dohadovat podle standardních vyjednávacích pravidel a protokolů (**contract-net-protocol, aukce** atd.), přičemž trvale mají na paměti a sdílejí **GLOBÁLNÍ CÍL** složitěho systému

Jejich vzájemná komunikace využívá **sémantickou informaci** skladovanou **v sémantických/ontologických strukturách** (znalosti o struktuře podniku, procesech, organizaci, historických datech atd.)





Agentní systémy – metodologický význam

- Nový přístup **směřující k nové teorii systémů**, vyžaduje změnu myšlení – tato teorie však stále a citelně chybí
- Vhodný pro specifikaci, návrh a realizaci nejrůznějších distribuovaných systémů
- K dispozici platformy, realizující multiagentní systémy, včetně základních služeb, komunikačních a dohadovacích protokolů, učení, sémantiky a ontologií, meta-agentů, distribuovaného učení atd. (**standardy FIPA**)
- Modely agentů umožňují propojování (nehmotných) distribuovaných znalostí s reálným světem
- První praktické aplikace v nejrůznějších oblastech
- Mnoho teoretických problémů stále středem pozornosti výzkumu (emergentní chování, stabilita, adaptabilita)





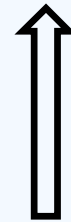
- ✓ Rozhodující budou tzv. **agenti-informatická/digitální dvojčata** nesoucí základní informaci o „svém“ objektu a využívající příslušné části **znalostní ontologie i blockchainový způsob ukládání dat**
- ✓ **Technologie blockchainů** – bude sloužit jako technologie pro bezpečné a nemanipulovatelné ukládání historie i dohodnuté části budoucnosti
- ✓ Agentní systémy budou fungovat především **v módu poskytování služeb** → realizace formou **architektur orientovaných na služby** (v informatickém slova smyslu)
- ✓ Takováto vize však podporuje i **poskytování služeb na úrovni obchodních modelů**: Službou může být nejen výroba individualizovaného produktu, ale i např. sdílení výrobní linky či stroje s jinou firmou





Platformy pro služby

Webová rozhraní pro komunikaci se zákazníkem, autonomní systémy



SW definované platformy

Systémová znalostní integrace, umělá inteligence



Propojení fyzických struktur

Fyzické prosíťování kabely, wifi, bluetooth, internetem



Technologická infrastruktura

Stroje, výrobní linky, vozíky, sklady

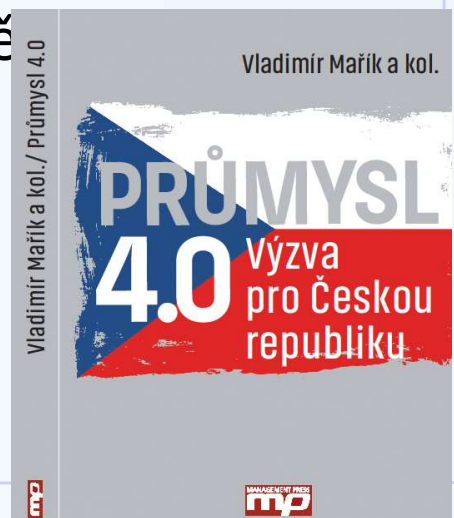


Národní iniciativa Průmysl 4.0



- ✓ **Národní iniciativa** vznikla jako reakce na potřeby a požadavky českého průmyslu za osobní podpory min. MPO J. Mládka a byla MPO koordinována
- ✓ Práce zahájeny v červenci 2015, **15.9.2015 – iniciativa vyhlášena na MSVB**
- ✓ Vytvořen řídicí tým o 11 členech, na expertním dokumentu o 190 stranách pak pracovalo **87 expertů v 11 odborných skupinách**
- ✓ **Dokument je komplexní**: v každé z 11 tématických kapitol analyzuje výchozí stav, naznačuje trendy vývoje, přináší SWOT analýzu a důležitou **součástí jsou návrhy konkrétních opatření** (celkem 47 klíčových a dalších 140 podrobně
- ✓ **Dokument dokončen 3.2.2016**
- ✓ **Kniha v Management Press – 26.5.2016**

PRŮMYSL
4.0





- 1. Úvod**
- 2. Specifická situace průmyslu v ČR**
- 3. Technologické předpoklady a vize**
- 4. Nové požadavky na aplikovaný výzkum v ČR**
- 5. Bezpečnost systémů**
- 6. Standardizace**
- 7. Právní a regulatorní aspekty**
- 8. Dopady na trh práce, kvalifikaci pracovní síly a sociální dopady**
- 9. Vzdělávání**
- 10. Průmysl 4.0 a efektivita využívání zdrojů**
- 11. Investice podporující Průmysl 4.0**

PRŮMYSL
4.0





Vláda iniciativu přijala dne 24.8.2016 a usnesla se na vytvoření **Aliance Společnost 4.0**, která bude zastřešovat řešení dopadů na celou společnost

15.2.2017 Aliance Společnost 4.0 založena – rozhodnutím vlády ČR, řídicí roli hraje **Vládní výbor pro digitální agendu:**

Inovovaný Akční plán pro Společnost 4.0 (září 2017) však neobsahuje jedinou větu o energetice!

V květnu 2017 založen Akademický poradní výbor Aliance Společnosti 4.0

Zabývá se rozvojem vizí v posledních dvou letech, zejména dopady na zaměstnanost, vzdělávání, ale též **na energetiku** a chytrá města (4 minitendry nabídnuty TA ČR – jeden z nich orientován na energetiku):

Připravuje se rozšíření vize Průmysl 4.0 o nové poznatky





Vládní prohlášení z roku 2013:

- *Podpoříme výzkum a vývoj v oblasti využívání obnovitelných zdrojů energie a skladování energie.*
- *Budeme podporovat rozvoj inteligentních rozvodných sítí a modernizovat elektrorozvodné sítě a sítě dálkového vytápění především s cílem snižování ztrát.*

- **NAP pro chytré sítě** – nikam situaci neposunul

- **Iniciativa Společnost 4.0 z roku 2016** – energetickým sektorem ignorována

- **Podpora výzkumu vizí Energetiky 4.0 či alespoň chytrých sítí.... se nekonala – situace je dosti kritická**

- **První program: THETA v TA ČR byl vyhlášen teprve tento měsíc**



Průmysl 4.0 nemůže fungovat v izolaci



-Zavádění principů Průmyslu 4.0 v průmyslu má jen omezený význam, **pokud okolí továrny včetně měst bude fungovat „postaru“**, bez uplatňování principů Průmyslu 4.0

-Jedná se především o zásadní koncepční změny **v energetice, dopravě, Smart Cities atd.** (často používané označení 4.0 znamená – v souladu s principy Průmyslu 4.0)

Základní podmínkou úspěchu Společnosti 4.0 je digitalizace a virtualizace, ale vlastním jádrem **znalostní (kybernetická) integrace** ve třech osách (konkrétně pro energetiku):

-**horizontální** (od výrobců k uživatelům a od uživatelů demand-driven služeb k poskytovatelům)

-**vertikální** (např. od systémů řízení generátorů, baterií, trafostanic v reálném čase, přes komunikační systémy, operační centrálu až k nejvyššímu managementu) a

-**ve směru inženýrské podpory** (od specifikace požadavků přes simulace, virtuální realitu až ke konkrétním návrhům realizace a realizaci, ke sledování a podpoře provozu a obchodu)





- Základem celé **decentralizované distribuční soustavy** bude
 - **soustava chytrých sítí** (smart grids) rozsahu části okresu, každá vytvářející částečně soběstačný ekosystém chovající se navenek někdy jako spotřebitel jindy jako výrobce (mění se profil spotřeby)
 - **páteřní síť** tvořená klasickými centralizovanými zdroji (ta by měla v roce 2030 pokrývat jen 70% spotřeby, v roce 2040 jen 60% a tento podíl by měl nadále klesat)
- **Chytré sítě** budou tedy **zahrnovat jak zdroje** (alternativní elektrárny, zdroje odpadního tepla, kogenerační jednotky, baterie), tak **současně spotřebitele**, ale i **prosumery** (kteří se někdy chovají jako zdroje, jindy jako spotřebitelé) – všechny tyto prvky se budou v lokálním měřítku optimalizovat s cílem maximální soběstačnosti





- Základními autonomními **subsystémy chytrých sítí** budou **výrobní podniky, systémy dopravních služeb či městského osvětlení, obytné čtvrti či rekreační zóny, lokální distribuční soustavy LDS,** apod. - jasné prolínání s chytrými městy
- Autonomní subsystémy obytných čtvrtí se mohou opírat o **chytré budovy** s významnou měrou soběstačnosti (vybavené např. FV zdroji, zásobníkem energie, kogeneračním zdrojem a plnou automatizací provozu s predikcí spotřeby) či jejich dynamicky se strukturující konglomeráty
- Klíčovou roli budou hrát **zásobníky energií** (baterie, zásobníky teplé vody, setrvačnickové zásobníky, akumulátory, elektromobily)
- Všechny takovéto autonomní subsystémy budou **přispívat k řízení stability dodávek** a postupně nahradí v této funkci fosilní elektrárny.





- Z hlediska funkce **hierarchicky**, z infromatického hlediska **plošně** strukturovaný **system chytrých sítí**, hledající event. oporu v páteřní síti, bude shrávat větší a větší roli
- Inteligentní chování celé soustavy bude založeno **na internetizaci a virtualizaci fyzické energetické infrastruktury**, umožňující **efektivní vyjednávání o odběratelsko-spotřebitelském profilu** mezi prvky chytrých sítí, mezi chytrými sítěmi stejné nebo hierachicky rozdílné úrovně i s páteřní síti v režimu peer-to-peer.
- Takto organizovaná národní eneregtická síť bude:
 - **Minimalizovat nároky na spotřebu fosilních paliv** (a tím emise atd.)
 - Zvyšovat **stabilitu sítě** přispěním „drobnějších výrobců“ a její **odolnost** proti napadení či blackoutům
 - Zvyšovat **modularitu, adaptabilitu a flexibilitu** soustavy s možností učení z vlastních zkušeností
 - Při vhodném tarifním schématu **motivovat spotřebitele k větší lokální výrobě z alternativních zdrojů** – stálý tlak na zvyšování podílu alternativních zdrojů





- **Jediné cílenější ovládání** (nikoliv řízení) umožňují systémy **HDO**
- **Nejsou vytvářeny předpoklady pro vertikální integraci v terminologii Průmyslu 4.0** (chybí jakákoliv interaktivní komunikace mezi soustavou a nově vznikajícími alternativními zdroji) i **pro integraci horizontální** (bez zohlednění požadavků spotřebitelů to ani nejde), nebudují se kapacity v integraci inženýrské podpory (chybějí odborníci v kybernetických a informatických oborech)
- **Nebudují se chytré sítě v pravém slova smyslu** ani **testbedy** v terminologii Průmyslu 4.0 experimentálně na úrovni obcí – první experiment v Horušanech snad ani nebyl dokončen, později ČEZ dal vznik LODISu a prováděl měřící experimenty ve Vrchlabí





- Národní akční program (NAP) pro chytré sítě se rozjíždí pomalu – realizace bude **investičně nákladná**
- V zemích EU, např. v Rakousku, v Itálii, Francii a jinde běží experimentální provozy a směřování k decentralizované energetice naplno
- Pokud nebudeme řídit energetickou soustavu v souladu s principy Energetiky 4.0, nebude fungovat ani průmysl, ani chytrá města** na tomto principu.
- Průmysl a města zůstanou konzumenty** energetického systému z minulého století a zůstanou odsouzeni do role plátců poplatků, ale **nestanou se aktivními partnery hry.**
- Nově formátovanou infrastrukturu (včetně té infromatické) **nelze vybudovat ze dne na den**





-Důležité je též napojení energetických smart gridů **na teplárství a plynárství** – povede k dalším úsporám a stabilizaci zásobování energiemi

-Pokud nezačneme s decentralizací ihned, **během 5-10 let budeme stát před velkým problémem** ohrožujícím nejen konkurenceschopnost, ale i existenci průmyslu v ČR

-**Směrování k Energetice 4.0 je dnes důležitějším úkolem než podpora Průmyslu 4.0** (tam je hnacím motorem průmysl a ten si ví v konkurenčním prostředí rady) – na řadě je **stát, aby konal co nejrychleji**





- Každý účastník chytré sítě musí být napojen na **dostatečně efektivní komunikační síť**, na rychlý širokopásmový internet. Všechna řešení nižší komunikační síly, jako Zigbee, Sigfox atd. vhodná jen pro sběr dat nebo pro ovládání zařízení, jsou však nevyhovující pro rychlou komunikaci opírající se o poměrně obsažné komunikační protokoly.
- Musí vedle sebe existovat nezávislé, ale vzájemně propojené **dvě sítě – energetická a informatická**. Budoucnost energetiky je tak více o energetické informatice než o přenosových drátech a trubkách.
- Dnešní fyzickou distribuční infrastrukturu nebudeme zřejmě rušit, jenom ji rozvíjet či modifikovat tak, aby mohla být dobře podporována virtuální informatickou nadstavbou**. Půjde o to rychlou informatickou síť ve všech uzlech a klíčových zařízeních napojit na fyzicky existující prvky (transformátory, generátory, spotřebiče, akumulátory atd.).





-Základní technologický předpoklad - vhodní **virtuální dvojníci prvků chytré sítě**, kteří budou obsahovat jednak znalosti o principech a pravidlech chování toho prvku, který reprezentují, jednak konkrétní data o současné situaci, ale též znalosti o principech chování a současném stavu kooperujících partnerů.

-**Znalosti může každý dvojník prvku sítě získávat z kontejnerů ontologických znalostí**, udržovaných ve specializovaném autonomním SW agentu ontologických znalostí. Data získává každý dvojník buď odečítáním přímo ze svého fyzického objektu, který reprezentuje, nebo dotazem k dvojníku prvku, který tu informaci má k dispozici. Energetika 4.0 bude vyžadovat **postupný vývoj virtuálních dvojníků všech elementů sítě**, tj. generátorů, spotřebičů, akumulátorů, prosumerů atd., na základě vytváření vhodných modelů chování těchto prvků.





-S distribuovanými složitými systémy, a to platí o energetických soustavách zvláště, nelze pro verifikaci jejich chování či stability příliš experimentovat. Proto simulace, zejména **agentové simulace, patří k základním technologiím při vývoji a ověřování vlastností těchto systémů.**

-Při postupném rozvoji a nabíhání distribuovaných systémů nutno mít k dispozici **simulační nástroje přímo napojitelné na fyzický systém.** Pak by bylo možné část soustavy modelovat a další fyzickou část již přímo řídit.

-**Technologie blockchainů** umožňuje decentralizovaně, ale verifikovatelně zaznamenávat a uchovávat veškeré informace o proběhlých energetických transakcích, tedy o směnách energie. **Informační energetické blockchainy** mohou být později zaměněny energetickou blockchainovou měnou (nazývanou třeba watcoin), směnitelnou v bankách za opravdové peníze (pokud budou v té době ještě existovat) nebo třeba za bitcoiny.





- Začít využívat dostupné **metody umělé inteligence pro rychlou analýzu velkých dat a dále rychlé znalostmi podporované vyjednávání a rozhodování**. Učení z minulých příkladů je velice vítaným, zatím nepříliš často užívaným nástrojem.
- Nejedná se o žádné záhadné orakulum, ale o seriózní využívání dnes dostupných rigorózních metod rozvíjených v rámci vědní disciplíny, která se nazývá **umělá inteligence**.
- Např. **induktivními metodami učení** získávat dlouhodobější pravidla platící pro chování systému, **metodami rozpoznávání** detekovat podezřelé jevy v síti. Velmi populárními se stávají metody tzv. „**hlubokého učení**“ (**deep learning**), založené na umělých neuronových sítích, poskytující i vysvětlování..
- Těchto metod je možné již dnes využívat **při řízení, diagnostice či predikci chování sítě**.





- Technologický **rozvoj akumulátorů energie**. Akumulace vnáší novou dimenzi do hospodaření s energií. Akumulátory energie pracují na nejrůznějším principu, nejjednodušší je akumulace tepla v kotlích nebo energie v setrvačnicích.
- Největší perspektivu zatím mají **lithium-ionové akumulátory Li-on a akumulátory sodíko-sírové NaS**. Nejlepších parametrů dosahují NaS baterie – hustotu energie až 400 Wh/kg, jsou bez samovybíjení, s vysokou účinností a zejména s ultrakrátkým časem odezvy 2 msec. Jejich hlavní nevýhodou je poměrně vysoká teplota kapaliny uvnitř baterie (kole 350 stupňů Celsia). Oproti tomu rozšířenější Li-on baterie mají cca 2x až 3x menší hustotu energie, lze z nich však sestavovat až 200 MW akumulátory s kapacitou až 1200 MWh (garantovaný odběr po dobu 6 hod.). Hodí se tedy jak pro energetické, tak silové aplikace.





Platformy pro služby

Komunikace s zákazníkem, autonomní systémy



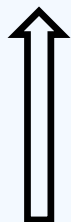
SW definované platformy

Systémová znalostní integrace, umělá inteligence



Propojení fyzických struktur

Fyzické prosíťování kabely, wifi, zigbee, internetem



Technologická infrastruktura

Elektrárny, rozvodná soustava, spotřebiče





Průmysl 4.0 je především novou filosofií řízení složitých systémů, vyžadující zásadní **konceptní změnu v myšlení**, která se musí uplatnit i **v energetice (Energetika 4.0)**

Opírá se o **teorii agentních systémů**: jedná se množinu inteligentně interagujících a vyjednávajících autonomních jednotek

Všechny prvky se stávají **aktivními hráči**

Přináší zcela **nové business modely**: **výroba jako služba, dodávka energie jako služba**, mobilita jako služba, výstavba, pronájem a údržba nemovitostí jako služba

Přináší **nové architektury podnikové informatiky** – směrem k otevřeným strukturám a službám





Základní podmínkou je digitalizace a virtualizace, ale vlastním jádrem znalostní (kybernetická) integrace – **jedná se o kybernetickou revoluci**

-Zavádění principů Průmyslu 4.0 v průmyslu, v dopravě, energetice či stavebnictví **má jen omezený význam, pokud nebude probíhat ve všech těchto oblastech současně**, ruku v ruce

-Jde o **celospolečenský fenomén**, který musí být podpořen změnou v myšlení, v systémovém pohledu na věc – **MYŠLENÍ 4.0**

-**Největší úsilí je v této chvíli potřeba zaměřit na energetiku – ta v přestavbě zaostává nejvíce**

