



Průmysl 4.0 a jeho dopady na dopravu, Smart Cities a energetiku

Vladimír MAŘÍK

Plzeň, 28.3.2017

www.ciirc.cvut.cz

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





Proč je hnací silou dnešního rozvoje průmyslová výroba?

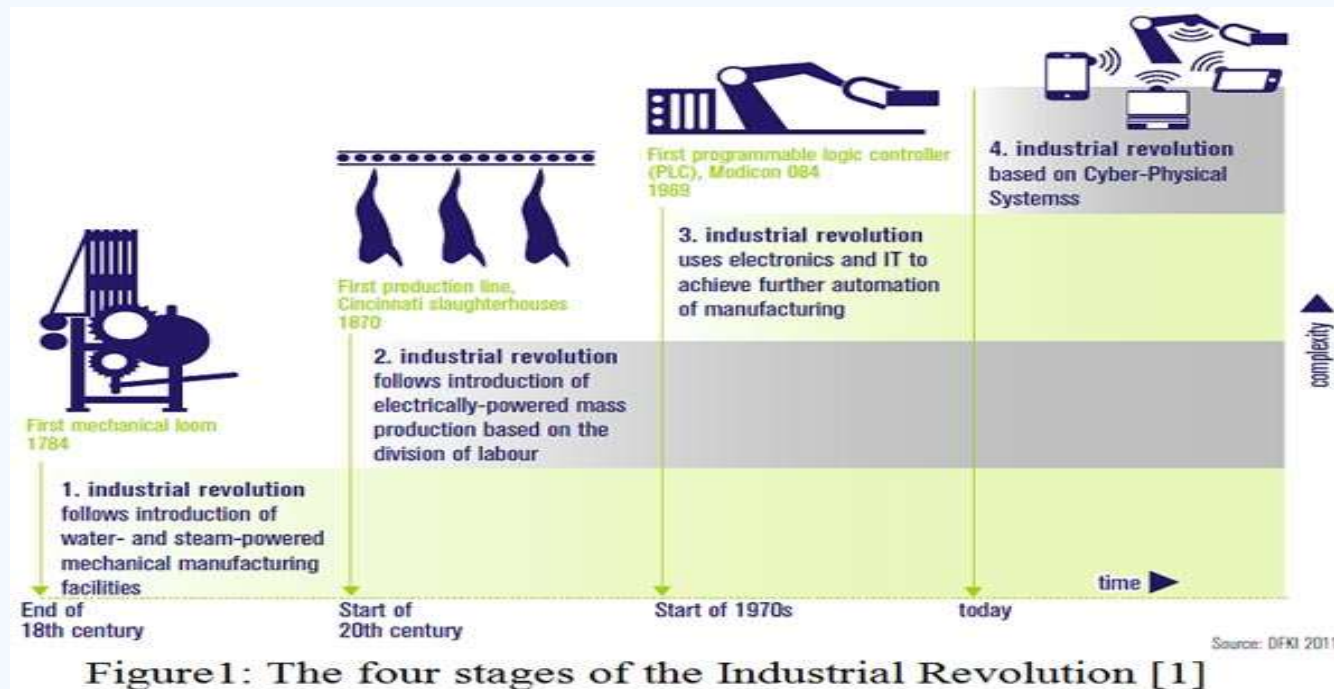
- ✓ **Konvergence komunikačních, počítačových a automatizačních technologií**, Moorův zákon stále platí, průmyslová sféra nejlépe připravena
- ✓ **Virtualizace**: vzniká IoT (Internet věcí), propojuje se fyzický svět výroby se světem virtuálním, každý **objekt fyzického světa** může mít svého **dvojníka ve světě virtuálním a stát se aktivním elementem komunikace**
- ✓ **Nové technologie**: aditivní 3D tisk, cloudy, metody kybernetiky, umělé inteligence a strojového učení, strojové vnímání, *agentní technologie* atd.
- ✓ **Nové obchodní modely** založené na vysoké autonomii jednotlivých výrobních i nevýrobních složek podniků, na vazby na tzv. *okolí továrny*, vedou k **individualizaci produkce**
- ✓ Vznikají **složité výrobní systémy, které lze řídit pouze decentralizovaně**: komunity autonomních subsystémů (agentů)



4. průmyslová revoluce

– Technologické pokroky

- 1. průmyslová revoluce: pára
 - 2. průmyslová revoluce: elektřina
 - 3. průmyslová revoluce: počítače a roboti
 - 4. průmyslová revoluce: Kyberneticko-fyzikální systémy (CPS)





- ✓ 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
Vládní dotace: 750 mil. EUR na 3 roky
automatizační technologie jsou ve vizi zaměřeny na distribuované systémy a počítají s metodami samooptimalizace, automatizované rekonfigurace, autodiagnostiky, strojového vnímání a inteligentní podpory dělníka





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

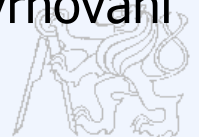




Integrovaný výrobní systém chápaný jako kyberneticko-fyzický systém je **systémem velmi složitým**, který lze řídit pouze na základě principů důsledné **decentralizace, asynchronní adresné komunikace a koordinace.**

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...**



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 prosít'ování**

všech aktivit spojených s průmyslovou výrobou





6 základních principů

- a) **Interoperabilita:** schopnost kyberneticko-fyzických systémů, lidí a všech komponent podniku vzájemně komunikovat prostřednictvím IoT a IoS
- b) **Virtualizace:** schopnost propojování fyzických systémů s virtuálními modely a simulačními nástroji
- c) **Decentralizace:** rozhodování a řízení probíhá autonomně a paralelně v jednotlivých subsystémech
- d) **Schopnost pracovat v reálném čase:** dodržení požadavku reálného času je klíčovou podmínkou pro libovolnou komunikaci, rozhodování a řízení v systémech reálného světa
- e) **Orientace na služby:** preference výpočetní filosofie nabízení a využívání standarních služeb, to vede na architektury typu SOA (Service Oriented Architectures), nověji tzv. mikro-slужeb
- f) **Modularita a rekonfigurabilita:** systémy Industry 4.0 by měly být maximálně modulární a schopny autonomní rekonfigurace na základě automatického rozpoznání situace





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 dohodovacích 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)



Klíčové vize – Složitě systémy jako systémy agentní

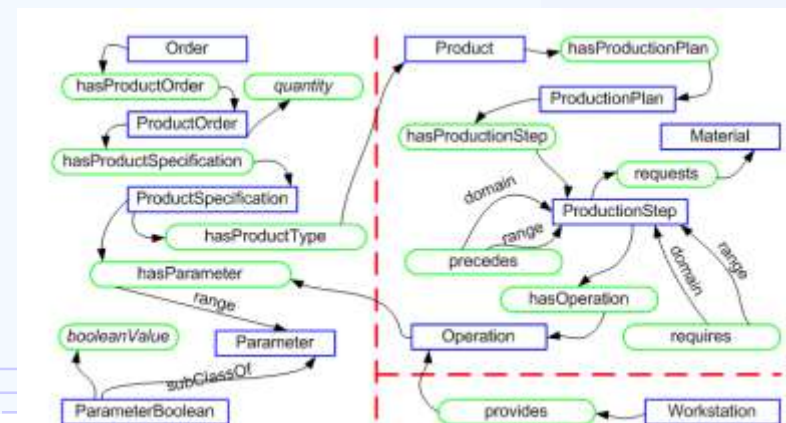
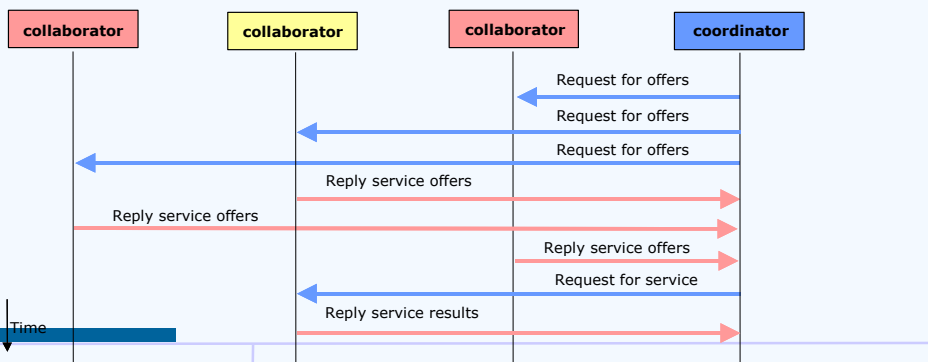


Každý stroj, transportní zařízení, poloproduct, výrobek, oddělení atd. reprezentovány ve virtuálním světě jako autonomní entita = **SW agent**

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.)

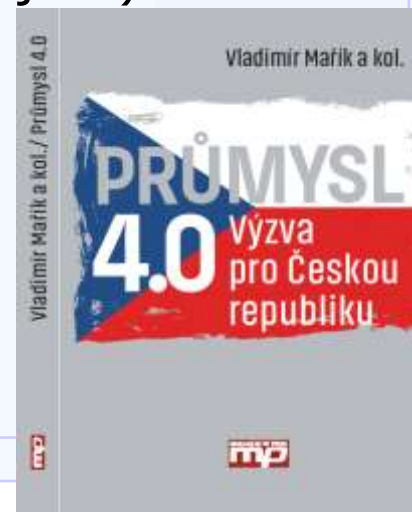


Národní iniciativa Průmysl 4.0



- ✓ **Národní iniciativa** vznikla jako reakce na potřeby a požadavky českého průmyslu za podpory MPO
- ✓ 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 podrobnějších)
- ✓ **Dokument dokončen 3.2.2016**
- ✓ **Kniha v Management Press – 26.5.2016**

PRŮMYSL
4.0



Obsah návrhu Iniciativy 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**



Iniciativa 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

Kulatý stůl Národního konventu se uskutečnil **dne 2.12.2016**

15.2.2017 Aliance Společnost 4.0 založena – rozhodnutím vlády ČR

Bude se zabývat i problematikou chytrých měst





✓ **Výzva sociální: dopad na trh práce**

člověk nebude nahrazen, nýbrž dostane nové nástroje
některé profese vymizí, jiné se vytvoří
pracovní trh nutno připravovat na změny s předstihem
nutno jednat s odbory, vysvětlovat

✓ **Výzvy v oblasti bezpečnosti a dostupnosti infrastruktury**

jedná se o komplexní systémovou bezpečnost, nikoliv jen počítačovou

✓ **Výzvy v oblasti standardizace**

povede především ke kompatibilitě řešení, specializované standardy zatím neexistují

Každá z výzev - pokud bude ignorována - může se stát hrozbou pro konkurenceschopnost české ekonomiky





Všichni a všude hovoří o počítačové či kybernetické bezpečnosti – avšak **téměř žádná řešení**

V rámci řešení Průmysl 4.0 však **půjde o systémovou bezpečnost**, jíž je počítačová bezpečnost jen součástí

V našich podnicích – **téměř nulové povědomí o bezpečnosti**

Bezpečnost = komplexní problém **zasahující současně fyzickou infrastrukturu i virtuální část** kyberneticko-fyzikálních systémů

Stabilita výrobního procesu a zařízení i při náhle se měnících podmínkách (např. při poruše přepravníku, havárii, při počítačovém napadení při výpadku energie atd.) – zajišťována např. přísným dodržováním krizových pravidel, rekonfigurací zařízení či náhradními zdroji

Odolnost (resilience) – schopnost systému předvídat, přizpůsobit a obnovit se z různých stavů možného i projeveného nebezpečí, aniž by se tento systém zhroutil. To předpokládá rychlou a účinnou přizpůsobivost spojenou s porozuměním situaci.



4. průmyslová revoluce ovlivní celou společnost



4. průmyslová revoluce přináší myšlenky a technologie, které **zasáhnou další oblasti**, např.

- ✓ **Energetiku** při řízení a koordinaci decentralizovaných zdrojů: na úspěšnosti myšlenek bude záviset, kolik centrálních zdrojů budeme muset vybudovat (**Energetika 4.0**)
- ✓ **Dopravu a logistiku** v širším slova smyslu (**Doprava 4.0**)
- ✓ **Smart Cities**: jde též o distribuované procesy s možností permanentní optimalizace a nutností flexibilní reakce na změny
- ✓ **Zdravotní péči**: zde se jedná především o optimalizaci distribuovaných služeb (**Zdravotnictví 4.0**)

4. průmyslová revoluce se stává **celospolečenským fenoménem!**

Kybernetická průmyslová revoluce je **více revolucí, tj. zásadní změnou v myšlení lidí** než v technologiích – **MYŠLENÍ 4.0**

Technologie už máme (nebo můžeme koupit), myšlení jsme ještě nezměnili!



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 chytrá města):

- **Vertikální** (od uživatelů služeb k poskytovatelům a zpět)
- **horizontální** (např. od systémů řízení auta, přes komunikační systémy, centrálu až k nejvyššímu managementu) a
- **ve směru inženýrské podpory** (od požadavků přes simulace, virtuální realitu až ke konkrétním návrhům realizace)





- **Doprava a logistika** bezprostředně navazující na výrobu dle principů Průmyslu 4.0 a související s problematikou Smart Cities **mají dnes k dispozici řadu nástrojů**:
 - **Plánovací a rozvrhovací algoritmy** pro optimální vytížení flotily
 - každé vozidlo se může chovat jako autonomní agent a v rámci mobilní aplikace dohadovat/vyjednávat optimální alokaci a vytížení
 - Vozidla mohou vyjednávat optimální trajektorii s **virtuální reprezentací dopravní sítě** (každý úsek silnice může být reprezentován agentem ve virtuálním prostoru, nesoucím informaci o stavu vozovky, očekávaném vytížení a průjezdnosti)
 - **Dynamickou volbou přepravní trajektorie** s uvažováním informace o čerpacích stanicích lze optimalizovat spotřebu
 - Systémy **prediktivní údržby vozového parku** jsou již dnes k dispozici





- V oblasti **chytrých měst** nutno či možno brát do úvahy např.:
 - Interaktivní vyjednávání s průmyslovými podniky a školami o hodinách příjezdu a odjezdu zaměstnanců a žáků (**dynamická optimalizace jízdých řádů**)
 - **Dynamické směřování provozu** podle momentální zátěže na základě interaktivní multiagentní komunikace
 - Směřovat k **elektromobilitě ve městě jako službě** (při uvažování vhodného modelu částečné energetické soběstačnosti)
 - Navrhování cest, urbanistická řešení a technická řešení – mohou **vznikat v interaktivní simulaci** za účasti potenciálních uživatelů, municipalit, výrobních systémů s využitím simulačních nástrojů, systémů BIM atd.

Smart City je složitý systém, optimalizovaný na spotřebu energie, zdrojů včetně zdrojů lidských, času a uspokojování potřeb – PROBLEMATIKA MUSÍ BÝT CHÁPÁNA KOMPLEXNĚ





- Chytrá města pomohou i **rozvoji přilehlých regionů**
- Řada aktivit z domova, **bez nutnosti cestování**
- Oživí se místní restaurace, služby, atd.
- **Přesun lidí do sociálních služeb** v místě bydliště
- **Lepší kvalita života**
- Do města se cestuje jen v případě potřeby, jedná se o cesty předem připravené





- 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 a tento podíl by měl nadále klesat)
- **Chytré sítě** budou tedy **zahrnovat jak zdroje** (alternativní elektrárny, zdroje odpadního tepla), **tak současně spotřebitele** - budou se 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.
- 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 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 infromatických 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..
- Na druhé straně ve stejné době tzv. nezávislá analýza tzv. nezávislou soukromou evaluační firmou „dokazuje“, že nelze další alternativní zdroje do naší sítě zapojovat – naše simulace podle evropských regulací však ukazují pravý opak





- Národní akční program (NAP) pro chytré sítě se rozjíždí – 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 či doprava** na tomto principu.
- **Průmysl a města zůstanou konzumenty** energetického systému z minulého století a zůstanou odsouzení 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 teplárenství a plynárenství** – 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**





Mnoho různorodých témat

- Autonomní automobily
- Technické připojování strojů, zařízení, automobilů či chytrých sítí a lidí do komunikačních sítí, komunikační prostředky a standardy
- Bezpečnost
- Interfacy: rozhraní typu virtuální reality, HMI
- Kybernetické aspekty řízení složitých systémů a systémové integrace –
nové kybernetické technologie:
 - **Velká data a jejich analýza**
 - **Strojové učení, hluboké neuronové sítě**
 - **Znalosti, znalostní zpětné vazby, sémantické struktury**
 - **Agentní technologie**

.....





Klíčová je **virtualizace objektů** reálného světa, **prosít'ování** těchto virtuálních dvojčat **a interaktivní komunikace v síti** vedoucí ke **globální optimalizaci**

Produktem projektu Smart Cities **jsou chytré služby, uživatelem my všichni**

Potřebné algoritmy jsou k dispozici, je potřeba je **proměnit v reálné aplikace.**

Smart Cities jsou při využívání filosofie Průmyslu 4.0 na tom přibližně stejně jako průmysl – hnacím motorem budou potřeby municipalit a investiční úsilí přepravců. Stát hraje roli jenom ve změnách legislativy

Realizace Průmyslu 4.0 v plné šíři (Společnost 4.0) není možná bez řešení energetiky, dopravy a Smart Cities s využitím stejné filosofie – **MYŠLENÍ 4.0**





Průmysl 4.0 je především novou filosofií řízení složitých systémů, vyžadující zásadní **koncepční změnu v myšlení**

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, 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





- **ČR na tom není špatně** – koncepce Průmysl 4.0 vládou povýšená na Společnost 4.0 je pojmána velmi komplexně, v plné šíři včetně energetiky, dopravy, stavebnictví, včetně **Smart Cities**...
- Byla **oceněna** nejen na setkání se **spolkovou kancléřkou A. Merkelovou** 25.8.2016, ale i na **mezinárodním RRI fóru v Tokyu** dne 19.10.2016

