

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301      Strojní inženýrství  
Studijní obor:      2302T013      Průmyslové inženýrství a management

# **Diplomová práce**

Chytrý dům s využití principů Industry 4.0

Autor:                      **Bc. Martin Bezouška**

Vedoucí práce:      **Doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018



## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

**V Plzni dne:** .....

.....  
**podpis autora**

### **Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zdeňku Ulrychovi Ph.D za výtečnou spolupráci. Dále bych rád věnoval poděkování konzultantovi Ing. Marku Burešovi, Ph.D za nápomoc, poskytnuté rady i materiály při řešení diplomové práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Bezouška	<b>Jméno</b> Martin		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	<b>2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“</b>			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Ulrych, Ph.D.	<b>Jméno</b> Zdeněk		
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KPV			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Chytrý dům s využitím principů Industry 4.0			

<b>FAKULTA</b>	strojí	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2018
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	90	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	86	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce se zabývá návrhem chytrého, energeticky soběstačného konkrétního objektu s využitím prvků Industry 4.0. Práce je rozdělena do sedmi částí, první se zabývá rozbohem konceptu Industry 4.0, druhá současným stavem objektu, třetí čtvrtá a pátá část se zabývá návrhem komponent pro daný objekt. Poslední dvě části se zabývají vlastním návrhem a kalkulací.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Průmysl 4.0, Chytrý dům, Ostrovní systém, energetická soběstačnost, chytrá zahrada, chytré spotřebiče, automatizace, úspora energií, tepelné čerpadlo, větrná elektrárna, solární elektrárna, návrh domu

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Bezouška	<b>Name</b> Martin	
<b>FIELD OF STUDY</b>	<b>2301T007 “Industrial Engineering and Management“</b>		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Ulrych, Ph.D.	<b>Name</b> Zdeněk	
<b>INSTITUTION</b>	<b>ZČU - FST - KPV</b>		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Smart house using Industry 4.0 principles		

<b>FACULTY</b>	<b>Mechanical Engineering</b>	<b>DEPARTMENT</b>	<b>Industrial Engineering and Management</b>	<b>SUBMITTED IN</b>	<b>2018</b>
----------------	-------------------------------	-------------------	--	---------------------	-------------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	<b>90</b>	<b>TEXT PART</b>	<b>86</b>	<b>GRAPHICAL PART</b>	<b>4</b>
----------------	-----------	------------------	-----------	-----------------------	----------

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This diploma thesis deals with the design of a smart, energetically self-supporting concrete object using Industry 4.0 principles. The thesis is divided into seven parts, the first one deals with the analysis of the Industry 4.0 concept, the second the current state of the object, the third fourth and the fifth part deals with the component design for the given object. The last two parts deal with their own design and calculation.
<b>KEY WORDS</b>	Industry 4.0, Smart home, self-sufficiency, energy self-sufficiency, smart garden, smart appliances, automation, energy saving, heat pump, wind farm, solar power station, house design

## Obsah

1	Industry 4.0 .....	13
1.1	Historie .....	13
1.1.1	1. Průmyslová revoluce .....	13
1.1.2	2. Průmyslová revoluce .....	14
1.1.3	3. Průmyslová revoluce .....	15
1.2	Šest základních pilířů.....	16
1.2.1	Interoperabilita .....	16
1.2.2	Virtualizace .....	17
1.2.3	Decentralizace .....	18
1.2.4	Schopnost pracovat v reálném čase.....	18
1.2.5	Orientace na služby .....	18
1.2.6	Modularita a rekonfigurabilita .....	19
1.3	Patnáct základních technologických oblastí .....	19
1.3.1	Chytrá dodavatelská síť .....	19
1.3.2	Výrobní systém další generace.....	19
1.3.3	Cloudové úložiště a procesy.....	19
1.3.4	Analýza dat.....	20
1.3.5	Kybernetická bezpečnost.....	20
1.3.6	Inteligentní senzory .....	21
1.3.7	Kyberneticko fyzikální systémy (CPS).....	21
1.3.8	Chytrá údržba .....	23
1.3.9	Mobilní pracovní prostředky .....	23
1.3.10	Autonomní vozidla.....	24
1.3.11	Inteligentní produkt .....	25
1.3.12	Aditivní výroba (3D tisk) .....	25
1.3.13	Robotika .....	26
1.3.14	Pokročilé materiály .....	27
1.3.15	Reagující výroba .....	27
2	Současný stav objektu.....	28
3	Chytrý dům .....	32
3.1	Řízení teploty.....	33
3.1.1	Elektrokotel .....	34
3.1.2	Kotel na plyn .....	38
3.1.3	Tepelné čerpadlo .....	42
3.1.4	Srovnání nákladů na vytápění rodinného domu.....	52

3.2	Šetrné využívání energie .....	52
3.3	Bezpečnost .....	52
3.4	Centrální funkce .....	53
3.5	Větrání .....	54
3.6	Stínění .....	55
3.7	Ovládání a řízení .....	55
3.8	Osvětlení .....	55
3.9	Chytré spotřebiče .....	56
3.10	Chytrá garážová vrata .....	57
4	Chytrá zahrada .....	58
4.1	Automatické zavlažování .....	58
4.2	Automatické sekání trávy .....	58
5	Energetická soběstačnost objektu .....	59
5.1	Větrná elektrárna .....	59
5.2	Fotovoltaická elektrárna .....	62
5.3	Ukládání elektrické energie .....	64
5.4	Domácí Vodárna .....	68
6	Návrh chytrého objektu s energetickou soběstačností .....	70
6.1	Ideální soběstačný objekt dle prvků Industry 4.0 .....	70
6.1.1	Centrální server .....	70
6.1.2	Řízení teploty .....	70
6.1.3	Bezpečnost .....	71
6.1.4	Osvětlení .....	71
6.1.5	Chytré spotřebiče .....	72
6.1.6	Chytrá zahrada .....	73
6.1.7	Energetická soběstačnost .....	74
6.2	Reálný soběstačný objekt dle prvků Industry 4.0 .....	75
6.2.1	Centrální server .....	75
6.2.2	Řízení teploty .....	75
6.2.3	Bezpečnost .....	76
6.2.4	Osvětlení .....	76
6.2.5	Chytré spotřebiče .....	77
6.2.6	Chytrá zahrada .....	78
6.2.7	Energetická soběstačnost .....	79
7	Kalkulace .....	80
8	Závěr .....	82
9	Zdroje .....	83



## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 TOVÁRNA V PRVNÍ PRŮMYSLVÉ REVOLUCI [5]	14
OBRÁZEK 2 JEDNA Z PRVNÍCH MONTÁŽNÍCH LINEK VE SPOLEČNOSTI FORD V ROCE 1913 [4]	14
OBRÁZEK 3 PORTÁLOVÉ OBRÁBĚCÍ CENTRUM FSGC [8]	16
OBRÁZEK 4 INTEROPERABILITA [12]	17
OBRÁZEK 5 VIRTUALIZACE [14]	17
OBRÁZEK 6 ZNÁZORNĚNÍ CLOUD COMPUTINGU [21]	20
OBRÁZEK 7 AUTOMATICKÝ AUTONOMNÍ DOPRAVNÍK [26]	22
OBRÁZEK 8 5C ARCHITEKTURA [23]	22
OBRÁZEK 9 MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ UKAZUJÍCÍ ROZŠÍŘENOU REALITU [28]	24
OBRÁZEK 10 3D TISKÁRNA TISKNOUCÍ OBYTNÝ DŮM [36]	26
OBRÁZEK 11 ROBOT LS3 PRO PŘEPRAVU MATERIÁLU V TĚŽKÉM TERÉNU [38]	26
OBRÁZEK 12 NANOVLÁKNA [41]	27
OBRÁZEK 13 RODINNÝ DŮM	29
OBRÁZEK 14 PŮDORYS DOMU	30
OBRÁZEK 15 SKLEP DOMU	31
OBRÁZEK 16 PŘÍKLAD CHYTRÉHO DOMU [43]	32
OBRÁZEK 17 PŘÍKLAD RŮZNĚ VYTÁPĚNÝCH MÍSTNOSTÍ [45]	33
OBRÁZEK 18 DRÁTOVÝ TERMOSTAT [49]	34
OBRÁZEK 19 BEZDRÁTOVÝ TERMOSTAT [49]	35
OBRÁZEK 20 MORA-TOP ELECTRA 24 KOMFORT [52]	36
OBRÁZEK 21 HLAVNÍ ČÁSTI KOTLE [53]	36
OBRÁZEK 22 PROTHERM PANTHER CONDENS 25 KKO-A [61]	39
OBRÁZEK 23 PROTHERM MEDVĚD CONDENS 25 KKS [62]	40
OBRÁZEK 24 KONDENZAČNÍ PLYNOVÝ KOTEL [56]	41
OBRÁZEK 25 SCHÉMA TEPELNÉHO ČERPADLA [71]	44
OBRÁZEK 26 MOŽNOSTI INSTALACE TEPELNÝCH ČERPADEL [66]	45
OBRÁZEK 27 SCHÉMA TEPELNÉHO ČERPADLO VZDUCH VODA [66]	46
OBRÁZEK 28 ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA A SOLÁRNÍCH TEPELNÝCH KOLEKTORŮ [66]	47
OBRÁZEK 29 SCHÉMA TEPELNÉHO ČERPADLA VODA-VODA [66]	47
OBRÁZEK 30 SCHÉMA TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ VODA [66]	48
OBRÁZEK 31 VIZUALIZACE PŮDNÍHO KOLEKTORU [66]	49
OBRÁZEK 32 PŮDNÍ KOLEKTOR SLINKA [66]	49
OBRÁZEK 33 SCHÉMA ULOŽENÍ S HLUBINNÝM VRTEM [66]	50
OBRÁZEK 34 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA VZDUCH – VZDUCH [66]	51
OBRÁZEK 35 PŘÍKLAD CHYTRÉHO ZÁMKU [78]	53
OBRÁZEK 36 MINISERVER LOXONE [81]	54
OBRÁZEK 37 ROBOTICKÁ SEKAČKA [87]	58
OBRÁZEK 38 SCHÉMA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY [90]	59
OBRÁZEK 39 VÝKONOVÁ KŘIVKA SCHOPPER RAPTOR 1500 [100]	60
OBRÁZEK 40 SCHÉMA ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY [92]	62
OBRÁZEK 41 SCHÉMA FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM [93]	63
OBRÁZEK 42 SCHÉMA VYUŽITÍ NÍZKÉHO TARIFU PRO DOBITÍ BATERIE [95]	65
OBRÁZEK 43 BATERIE POWERWALL [96]	66
OBRÁZEK 44 EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ SLUNCE [95]	67
OBRÁZEK 45 SCHÉMA DOMÁCÍ VODÁRNY [98]	68

## Seznam Tabulek

TABULKA 1 CENA TARIFU ELEKTRICKÉ ENERGIE [54]	28
TABULKA 2 CENA SPOTŘEBY ENERGÍ	29
TABULKA 3 DVOUTARIFOVÁ SAZBA [54]	37
TABULKA 4 SROVNÁNÍ CEN PLYNU PRO 47 275 KWH [64]	42
TABULKA 5 POROVNÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	52
TABULKA 6 TABULKA PRO VÝPOČET ROČNÍHO MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ENERGIE	61
TABULKA 7 NÁKLADY NA SOUČASNÝ PROVOZ	80
TABULKA 8 INVESTIČNÍ PRVKY	80
TABULKA 9 NÁKLADY NA KOMFORTNÍ PRVKY	81

## **Zkratky**

VT = vysoký tarif

NT = nízký tarif

CPS = Cyber-Physical Systém

CAD = Computer aided design

AM = additive manufacturing

## Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout konkrétní chytrý, energeticky soběstačný dům a zahradu s využitím prvků Industry 4.0. Diplomová práce je rozdělena do sedmi částí, v prvních pěti částích jsou řešeny teoretické i praktické poznatky týkající se dané problematiky, šestá a sedmá část se týká návrhu a vyhodnocení navržené varianty.

V první části diplomové práce je řešen rozbor prvků Industry 4.0. Rozbor je řešen jak z hlediska teoretického přístupu, tak z hlediska technologického.

Ve druhé části diplomové práce je řešen současný stav objektu, jsou zde vypracovány výkresy objektu, z kterých lze určit obytná plochy i plocha zahrady. Zároveň zde jsou uvedeny a vypočteny náklady za energie na rok.

Ve třetí části diplomové práce jsou řešeny prvky týkající se chytrého objektu, jedná se o prvky řízení teploty, šetrné využívání energie, bezpečnost, centrální funkce, větrání, stínění, ovládání a řízení, osvětlení, chytré spotřebiče a automatická vrata.

Ve čtvrté části diplomové práce jsou řešeny prvky chytré zahrady, jedná se zavlažovací systém a automatické sekání trávy.

V páté části diplomové práce je řešena energetická soběstačnost. Zdroje elektrické energie jsou obnovitelné a voda je získávána z vlastní studny.

V šesté části diplomové práce jsou řešeny dva návrhy objektu dle prvků Industry 4.0. První návrh je ideální a druhý reálný. Oba návrhy vychází z poznatků z předchozích kapitol.

Poslední část diplomové práce hodnotí a kalkuluje navržené varianty.

# 1 Industry 4.0

Nové technologie rychle mění způsob života lidí i tvář ekonomiky. Tyto změny umožňují vstup do čtvrté průmyslové revoluce. I přes to že se jedná o průmyslovou revoluci a průmysl stojí v jejím středu, zasahuje tato revoluce i široko mimo průmyslový sektor. Jedná se zcela o novou filozofii a přístup k řešení věcí.

## 1.1 Historie

Historie průmyslových revolucí začíná roku 1784. Od té doby prošel průmysl dalšími dvěma průmyslovými revolucemi. V roce 2011 byl představen koncept čtvrté průmyslové revoluce a od té doby svět do této revoluce vstupuje.

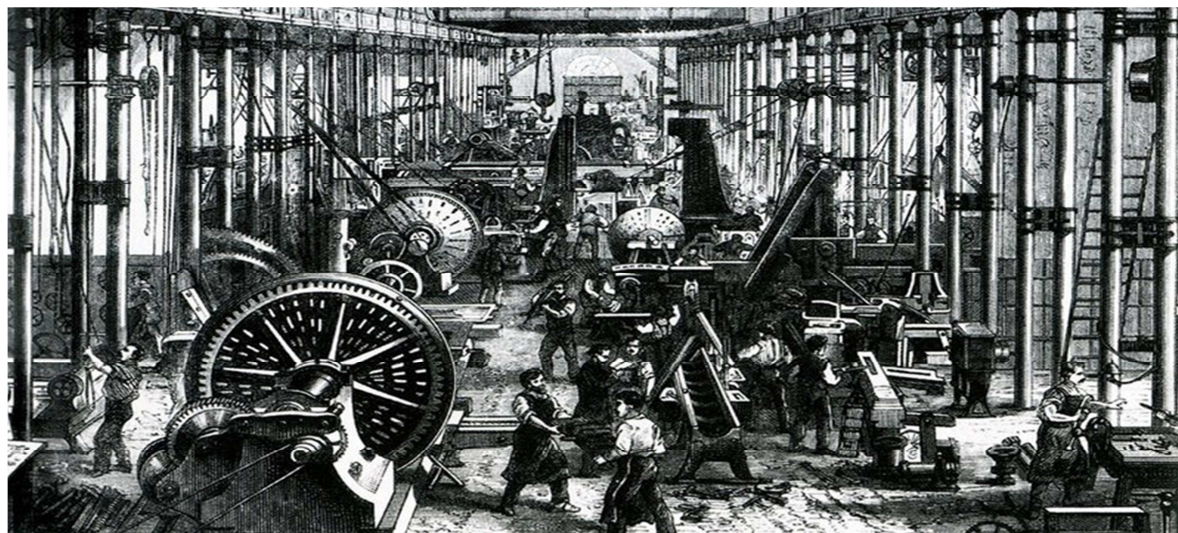
### 1.1.1 1. Průmyslová revoluce

První průmyslová revoluce započala v 18. století v Anglii. Někteří historici datují její přesný začátek v roce 1784, kdy Edmund Cartwright vynalezl první mechanický tkalcovský stav. [2,4]

V první průmyslové revoluci dochází k přechodu z ruční manufakturní výroby na strojní výrobu, stále jsou poháněny centrálním zdrojem energie, což mohlo být vodní kolo nebo parní stroj. V drtivé většině se ale jednalo o parní stroj, který jako palivo využíval uhlí. [1,2,3,4]

Symbolem první průmyslové revoluce je parní stroj, nicméně technický pokrok se projevil i u mnoha jiných strojů, protože stroje dokázaly zastat práci několika desítek dělníků. To zapříčinilo rozvoj těžkého průmyslu. Ten byl rozvíjen především důsledkem velké poptávky po oceli, která byla základem pro výrobu strojů, kolejnic, mostů atd., a poptávky po uhlí. Potřeba vyšší kvality zapříčinila zlepšování technologie výroby. Ve vysokých pecích se nahradilo dřevěné uhlí koksem. Centra výroby vznikala ve střední Anglii, severní Francii, Belgii, Porúří, Slezsku, na Urale a severovýchodě USA. V dopravě zpočátku existovaly koleje a parní stroj, roku 1814 zdokonalil George Stephenson lokomotivu i její výkon. Čtyřicátá léta se nesla ve znamení rozsáhlých staveb železnic, což umožnilo rozvoj mezinárodního obchodu, omezilo izolovanost některých regionů a znamenalo nástup svobodného obchodu. Kolonie si i nadále uchovaly význam jako zdroj laciných surovin i jako odbytiště výrobků. [1,2,3,4]

Kromě průmyslu a dopravy zasáhla první průmyslová revoluce také zemědělství, bankovníctví a hlavně na společnost, kde se dá význam první průmyslové revoluce přirovnat k neolitické revoluci, která znamenala proměnu společnosti od lovců a sběračů k zemědělské. S tím souviselo zakládání sídel, kompletní změna životního stylu a vznik soukromého vlastnictví. [1,2,3,4]



Obrázek 1 Továrna v první průmyslové revoluci [5]

### 1.1.2 2. Průmyslová revoluce

Začátek druhé průmyslové revoluce (vědecko-technické) se datuje koncem 19. století a bezprostředně tak navazuje na první průmyslovou revoluci. Většinou se spojuje se dvěma daty: s rokem 1879, kdy T. A. Edison vynalezl žárovku, nebo s rokem 1870, kdy společnost Cincinnati instalovala ve svém závodě první montážní linku a začala s dělbou práce, později elektrifikovanou, která přinesla další prudký rozvoj masové výroby. Tato revoluce je spojována především s elektrifikací a se vznikem montážních linek. [4]



Obrázek 2 Jedna z prvních montážních linek ve společnosti Ford v roce 1913 [4]

**Dochází k velkému propojení vědy a techniky.** Vědci získávají nové představy o člověku a přírodě – Darwin přichází se svou evoluční teorií. Ve fyzice Newton prosazuje mechanické pojetí přírody, objev mikroskopu umožní poznávání živé hmoty lidskému oku neviditelné. Dojde k objevu Roentgenových paprsků, přichází se na vlastnosti radioaktivity, Max Planck představuje kvantovou teorii a Albert Einstein teorii relativity. [1]

Teoretické poznatky se aplikují v technice a ve výrobě. Vznikají nové materiály, které nahrazují ty přírodní, např. umělá hnojiva, barviva, léčebné látky, třaskaviny, zdokonalilo se zpracování kaučuku (nafukovací pneumatiky). Zdokonalil se parní stroj a parní turbína. Uplatňuje se i nafta, která se stává důležitou po vynálezu spalovacího motoru. Vyrábějí se

elektromotory. Elektřina se uplatňuje v městské dopravě (tramvaje), při osvětlení, při komunikaci (bezdrátová telegrafie a telefon). Výroba se koncentruje do průmyslových komplexů. Zdokonalují se střelné zbraně, automaty. Vznikají zbrojařské koncerny. [1,6]

Symbolem tohoto období je elektřina, která byla používána k osvětlení, pohonu strojů, automobilů, tramvají a souvisí i s vynálezem kinematografie. Velký význam má vynález žárovky. Další významný vynález učinil Nicola Tesla konstrukcí transformátoru, který se používá dodnes při napájení elektrických spotřebičů, jako jsou pračky, ledničky, žehličky, k vytápění atd. Na elektrifikaci české země má největší zásluhu František Křižík, konstruktér obloukové lampy. První elektrotechnickou továrnu u nás založil Emil Kolben. [6]

V průběhu druhé průmyslové revoluce byl sestrojen první benzínový motor. V letech 1883-1886 se to podařilo německému konstruktérovi Gottliebu Daimlerovi. Ve stejné době sestavil benzínový motor i C. F. Benz. První automobil postavil v roce 1896 Henry Ford, jenž má zásluhu na první pohyblivé montážní lince a pásové výrobě. V České republice byl první český automobil sestaven v roce 1898 v Kopřivnici. S příchodem automobilů jsou spojeny i motocykly (v roce 1899 je představili vynálezci Laurin a Klement) a byly sestrojeny první konstrukce motorových letadel. [6]

### 1.1.3 3. Průmyslová revoluce

Období třetí průmyslové revoluce bývá nejčastěji spojováno s automatizací, elektronikou a rozmachem informačních technologií. Její datování je však také sporné jako u druhé průmyslové revoluce. Stejně jako byl přechod od uhlí a páry k elektřině poměrně spojitý a logický, tak i přechod od mechanismů k automatům byl spíše výsledkem přirozené evoluce než skutečnou revolucí. Za její počátek se nejčastěji uvádí rok 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat čili PLC. Jedná se vlastně o malý průmyslový počítač, řídicí jednotku, pro automatizaci procesů v reálném čase. Pro PLC je charakteristické, že program se vykonává v tzv. cyklech. [4]

Pro období třetí průmyslové revoluce je charakteristický příchod mikroprocesorů a využití počítačů. Do výrobních procesů byla nasazena elektronika a informační služby podporující automatizaci výroby. Objevily se první elektronicky řízené stroje a digitalizovala se výroba. [6]

Začaly se vyvíjet nové progresivní materiály s vysokou pevností a houževnatostí a vynikajícími fyzikálními, mechanickými i chemickými vlastnostmi. Nové výrobní postupy - 3D tisk, rapid prototyping (soubor technologií výroby prototypů pomocí 3D tisku) a široká škála internetových služeb usnadňují výrobu i nebývalé sdílení informací mezi lidmi. Domy a auta se stávají malými elektrárnami – využívají pro svůj pohon alternativních zdrojů energie. Pro výrobu elektřiny se využívá solárních ohřevů, fotovoltaiky, okna obsahující neviditelné kvantové tečky či důmyslné fotovoltaické nátěry s nanočásticemi. Komunikaci a sdílení dat podporují chytré telefony a dotyková zařízení. [6,7]



**Obrázek 3 Portálové obráběcí centrum FSGC [8]**

## **1.2 Šest základních pilířů**

Šest základních pilířů čtvrté průmyslové revoluce představuje převážně její filozofický směr. [11]

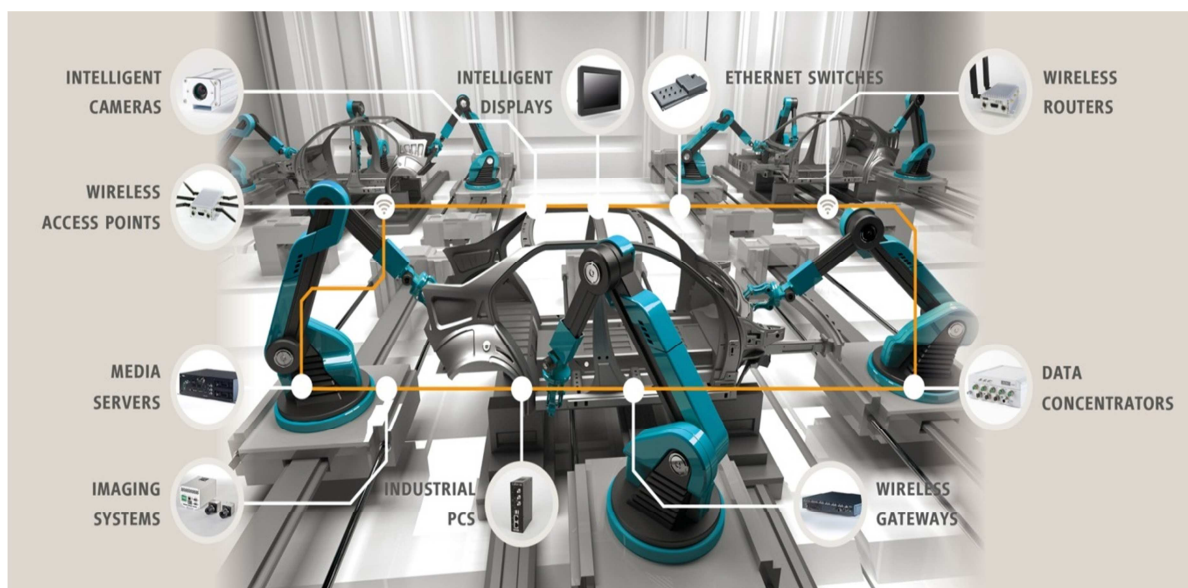
### **1.2.1 Interoperabilita**

V oblasti počítačů se pojem "interoperabilita" nejčastěji používá v souvislosti s možností vzájemné spolupráce různých platforem - tedy například k vyjádření toho, že počítač s operačním systémem IOS a na něm běžící aplikace dokáží spolupracovat s aplikacemi, provozované na jiném počítači s operačním systémem MS Windows. Je zde však ještě jeden problém, který je dobře patrný i na právě uvedeném příkladu. Interoperabilita se totiž může týkat různých úrovní: fyzického propojení obou námi zvolených počítačů, schopnosti síťového softwaru na obou počítačích vzájemně si předávat data (i když zde by asi bylo přesnější mluvit o konektivitě), dále schopnosti operačních systémů sdílet si navzájem své zdroje (tedy například možnosti přístupu jednoho počítače k souborům, nacházejícím se na druhém počítači), a konečně vzájemné součinnosti mezi aplikačními programy - například schopnosti dvou systémů elektronické pošty předávat si jednotlivé zprávy. Interoperabilita na vyšších úrovních je samozřejmě podmíněna interoperabilitou na úrovních nižších. [9]

Pokud budeme aplikovat interoperabilitu v průmyslu 4.0, je nutné vnímat veškeré stroje v továrně a ne pouze oblast počítačů, protože průmysl 4.0. transformuje tradiční výrobu do modelu nazývaného jako Průmyslový Internet věcí (Industry Internet of Things). [10,11]

Aby bylo možné interoperabilitu aplikovat v praxi je v současné době nutné standardizovat elektronické aplikace tak, aby byly mezi sebou kompatibilní. Zároveň je nutné stroje a informační techniku mezi sebou fyzicky propojit. [10,11]





Obrázek 4 Interoperabilita [12]

### 1.2.2 Virtualizace

Pod pojmem virtualizace v Industry 4.0 si lze představit schopnost propojit fyzický systém s virtuálním modelem a simulačními nástroji. [13]

Virtuální model nebo také virtuální dvojče je digitální model vytvořený v CAD systému. Tento digitální model je přesnou kopií daného prvku, například továrny a slouží pro zjištění či ověření různých informací. Díky simulačním nástrojům lze určit, jestli požadovaný vstup je možné v daném prvku uskutečnit v jakém čase, za jakou cenu atp. [14]

Virtuální dvojče lze poté překrýt datovými zdroji ze snímačů uvnitř továrny v reálném čase. Tyto snímače tak snímají přesný stav dané výroby či zásob bez ohledu na to kde se ve světě nachází. [14]



Obrázek 5 Virtualizace [14]

### 1.2.3 Decentralizace

Pod pojmem decentralizace si lze v Industry 4.0 představit jako autonomní řízení a rozhodování v jednotlivých subsystémech, které probíhá paralelně. [13,15,16]

Tato decentralizace nemusí být fyzická ale logická. Což znamená, že chytrý produkt nebo kyberneticko-fyzický systém (CPS) má schopnost se identifikovat a připojit na centralizovaný systém, který poskytuje jeho polohu a stav. Výpočetní výkon může být jinde například s využitím cloud computing. I přes to že některé systémy lze považovat za fyzicky centralizované, logická decentralizace musí existovat. [13,15,16]

Decentralizace výpočetní síly tedy umožňuje autonomní rozhodnutí v tržním výrobním prostředí složené z poskytovatelů služeb a zákazníků služeb. [13,15,16]

### 1.2.4 Schopnost pracovat v reálném čase

Dalším z klíčových vlastností konceptu Industry 4.0 je schopnost pracovat v reálném čase. Nicméně aby to bylo možné, je nutné veškeré prvky zaznamenávat, shromažďovat, vyhodnocovat atp. [10, 11, 16, 17]

Díky získávání dat v reálném čase je možné téměř okamžitě reagovat na změny díky vhodně nastaveným algoritmům, ty jsou ve velice krátkém čase schopny optimalizovat vzniklý problém. V budoucnu se budou schopny tyto algoritmy učit a vzniknou tak optimální, flexibilní a robustní systémy. [10, 11, 16, 17]

Pro záznam prvků je nutné v továrně zavést systém senzorů a snímacího zařízení. Každý prvek a úkon, který se tak v továrně stane, bude zaznamenán a vyhodnocen, to ale produkuje velké množství dat, s kterými je nutné pracovat. Velké množství dat se v Industry 4.0 nazývá Big Data, ty jsou obvykle ukládána na cloudová úložiště. [10, 11, 16, 17]

Řídit a distribuovat Big data v cloudovém prostředí je nutné pro dosažení autonomních a samoučících se strojů. Práce s velkými daty není v současné době na dostačující úrovni tak aby šla využít v konceptu Industry 4.0 a je tedy nutné tento systém stále zdokonalovat. [10, 11, 16, 17]

### 1.2.5 Orientace na služby

Preference výpočetní filosofie nabízení a využívání standardních služeb, to vede na architektury typu SOA (Service Oriented Architectures). [13]

SOA je paradigmatickým pro organizaci různých služeb často distribuovanou na síti nebo pod kontrolou různých domén. Organizované služby lze využít k řešení problémů. SOA se aplikuje na problémy, které je vhodné řešit pomocí informačních technologií. Služby jsou viditelné pro potenciální uživatele, komunikují s uživateli prostřednictvím série výměn informací a vytvářejí reálné hodnoty. Vyvolání a výměna informací závisí na standardních jazycích a protokolech, které usnadňují interoperabilitu.

Z pohledu uživatele vyvolá služba zamýšlený efekt jako jednotlivá operace. Podrobná sekvence akcí prováděných službou může zahrnovat libovolný počet operací, jako jsou databázové dotazy, transformace dat, vytvoření modelů atp. Tyto operace mohou být samy o sobě tvořeny operacemi na nižší úrovni. Datové and/or softwarové moduly potřebné k provádění operací mohou být umístěny na různých fyzických místech a řízeny různými poskytovateli. Podrobnosti o složení sledu činností, které produkují reálné hodnoty, jsou transparentní pro uživatele, který se se službou seznámil. SOA osvobodí uživatele, ty se pak mohou soustředit na svůj podnikatelský záměr a podrobnosti mohou nechat vyřešit servis. [18]

### **1.2.6 Modularita a rekonfigurabilita**

Systémy Industry 4.0 by měly být maximálně modulární a schopný autonomní rekonfigurace na základě automatického rozpoznání situace. [13]

## **1.3 Patnáct základních technologických oblastí**

Patnáct technologických oblastí ukazuje na technologický směr konceptu. [19]

### **1.3.1 Chytrá dodavatelská síť**

Transparentnost zásob dodavatelů a logistických vozidel umožňuje automatické a optimalizované rozhodování o dodávkách. V praxi by mohla chytrá dodavatelská síť v chytré továrně fungovat následovně:

- Autonomní vozítko odebere ve skladu součást a tím klesne její počet pod minimální hranici, která je stanovena autonomním učícím se algoritmem.
- Automaticky vznikne požadavek na doplnění zásob v určitém čase
- V chytré dodavatelské síti bude existovat určitý počet dodavatelů a systém vyhodnotí optimální možnost dodávky.
- Optimální dodávka materiálu bude automaticky objednána u dodavatele.

Tento systém lze uplatnit i v jiných než výrobních oblastech, které mohou pomáhat lidem v běžném životě, například doplňování potravin do domácnosti, ale i v dalších nevýrobních oblastech jako zemědělství, obchod... [19, 20]

### **1.3.2 Výrobní systém další generace**

Výrobní systém dělá automatická a chytrá rozhodnutí, nabízí chytré strojní aplikace, bezproblémovou inženýrskou integraci, dálkovou kontrolu, vizualizaci, monitoring a výstrahu. V praxi by tento systém mohl vypadat následovně:

- Do systému přijde požadavek na vytvoření výrobku.
- Systém automaticky vyhodnotí optimální volné kapacity a proveditelnost.
- Ze skladu vyrazí autonomní vozidla s materiálem, který vezou do výroby.
- Pracovníci vzdáleně kontrolují, jestli je vše v pořádku, to může provést i zákazník.

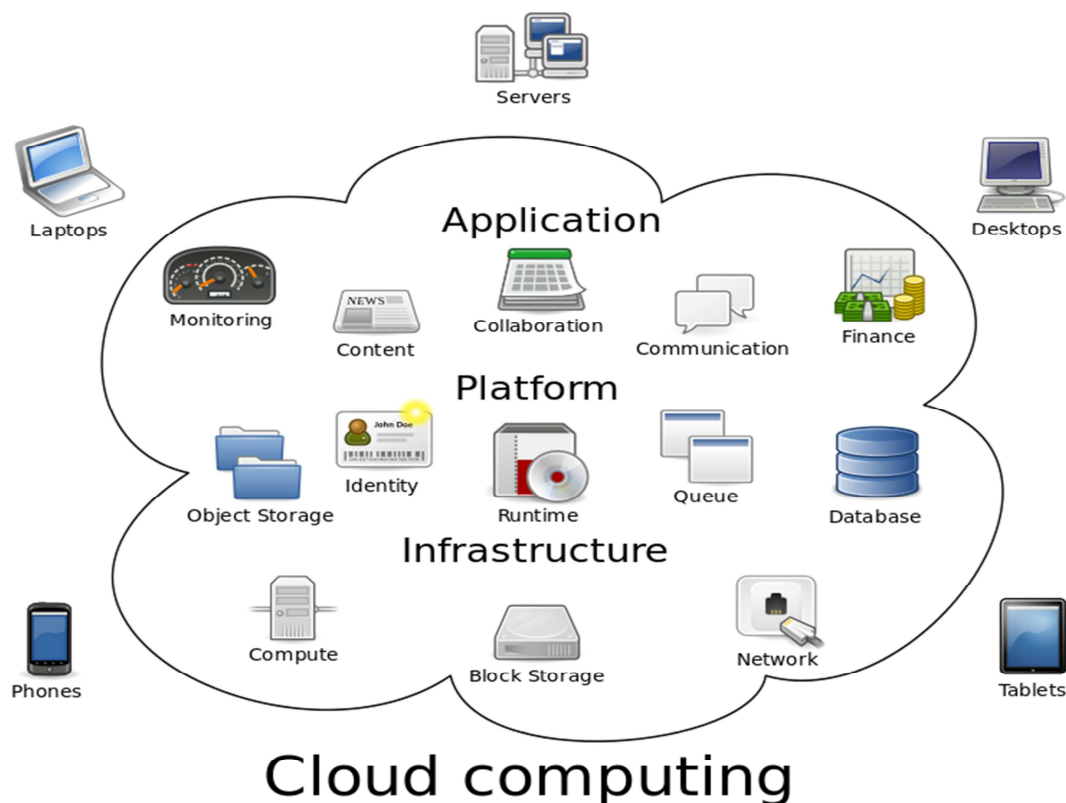
Tento systém je výrobní a tudíž lze využít pouze ve výrobě, nicméně některé prvky jako dálková kontrola monitoring nebo výstraha lze využít i v jiných oborech. [19]

### **1.3.3 Cloudové úložiště a procesy**

Cloud computing je na internetu založený model vývoje a používání počítačových technologií. Lze ho také charakterizovat jako poskytování služeb či programů servery dostupnými z internetu s tím, že uživatelé k nim mohou přistupovat vzdáleně, např. pomocí webového prohlížeče nebo klienta elektronické pošty. Za předpokladu, že služba je placená, uživatelé neplatí za vlastní software, ale za jeho užití.

Principem u služeb a produktů v cloud computingu je to, že uživatelé propůjčují výpočetní výkon serverů. V mnoha případech se tak děje formou specializovaných aplikací, jejichž nabídka se pohybuje od kancelářských aplikací přes systémy pro distribuované výpočty až po operační systémy provozované v prohlížečích. [21]

Inovátorské firmy již cloud computing využívají, avšak konzervativní firmy využívají většinou vlastní intranet. Přesto že cloud computing má v Industry 4.0. své místo není to rozhodně jediné možné využití. Tyto služby využívají i běžní lidé například službu google drive využívalo v roce 2017 přes 800 milionů lidí. [22]



Obrázek 6 Znárodnění cloud computingu [21]

### 1.3.4 Analýza dat

Každá entita kyber-fyzikálního systému bude generovat velké množství dat o provozu a také o svém vlastním stavu, tak vznikají big data viz odstavec 4.4. Tyto data je nutné analyzovat pokročilými rozhodujícími algoritmy, co jsou schopny analýz v reálném čase. Analyzovat big data je možné například pomocí cloud computingu. [19, 21]

Analýza dat se dá využít v různých oblastech, nicméně běžní lidé to pravděpodobně potřebovat nebudou. Avšak pomocí Internetu služeb mohou nabídnout svůj volný výpočetní výkon jejich vlastního počítače a pomáhat tak firmám s analýzou těchto velkých dat za úplatu úměrnou propůjčenému výkonu.

### 1.3.5 Kybernetická bezpečnost

Nedílnou součástí kyber-fyzikálních systémů jsou aspekty kybernetické bezpečnosti. Je zapotřebí zajistit nejen bezpečí přenášených dat, ale také zařízení (CPS entit) samotných. S rostoucím počtem zařízení budou narůstat i útoky na ně prováděné.

Kybernetické útoky jsou zaměřeny na narušení podnikové a výrobní činnosti a jsou vedeny osobami či organizovanými skupinami s různou motivací (ekonomický zisk, osobní cíl-pomsta, politické cíle, potlačení konkurence). Konkurenční boj mezi firmami se tak v blízké budoucnosti mnohdy nebude odehrávat pouze na poli obchodním. Cílenými hackerskými útoky na konkrétní stroje konkurenta se vyřadí jeho výroba na hodiny až dny, což velkým firmám může způsobit mnohamilionové ztráty. [16, 23]

Jedním z prostředků kybernetické bezpečnosti jsou například možnosti šifrování dat nebo firewall. Nicméně nejslabším článkem bezpečnostního řetězce je člověk a proto by se podniky

měli zaměřit i na zlepšování vnitropodnikové kultury a směřovat ji tak aby bylo porozuměno potřebám počítačové bezpečnosti a chápání souvislostí mezi vlastním konáním a bezpečnostními riziky. [16, 23]

### 1.3.6 Inteligentní senzory

Senzor je vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím, snímá měřenou nelineární veličinu a převádí ji na měřenou elektrickou (ve většině případů) veličinu. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo. Dále řetězec obsahuje měřicí obvod, zesilovač, obvod zpracování signálu, analogový čítač, mikropočítač. [24]

Inteligentní senzor v sobě zahrnuje vlastní čidlo, obvod pro úpravu signálu, analogový čítač, převodník, mikroprocesor pro zpracování a analýzu signálu a obvody pro komunikaci s okolím. [24]

V konceptu Industry 4.0. budou senzory hluboce integrovány ve strojích, kde bezdrátově sdílejí svá data a mají vlastní analytický operační systém. Inteligentní senzory ale mohou využívat i běžní lidé, například ve svém domě, kde budou dělat prakticky to samé co senzory v průmyslu a to bezdrátově sdílet svá data do vlastního analytického systému.

Rozdíl bude v tom, jaká data budou sdílena, zatím co v průmyslu to může být například stav baterie autonomního vozidla, teplota na výstupu z pece atp. V obytném objektu budou integrovány například pohybové senzory, světelné senzory nebo senzory počasí. [19, 25]

### 1.3.7 Kyberneticko fyzikální systémy (CPS)

Označení kyberneticko-fyzikální systém se poprvé objevilo před deseti lety v USA a označuje systém, který se skládá z fyzických entit řízených počítačovými algoritmy. CPS vyžaduje transdisciplinární přístup – spojuje v sobě teorii kybernetiky, mechatroniky, konstrukční a výrobní vědy.

Základem je tedy spolupráce samostatných řídicích (výpočetních) jednotek, které jsou schopny se autonomně rozhodovat, řídit svěřený technologický celek a zejména se stát samostatným a plnohodnotným členem komplexních výrobních celků.

Příklady takových systémů můžeme spatřovat například v řízení dopravy, autonomních automobilových systémech, smart gridech, senzorových sítích, letectví, koordinovaných skupinách robotů, vojenství, automatických výrobních linkách a skladech či systémech údržby.

Kyberneticko-fyzikální systémy se dále dělí na multiagentní a holonické systémy.

**Multiagentní systémy** – jedná se o systémy samostatně se chovajících agentů. Tyto agenty nemusí být nutně fyzické, může jít o pouze softwarový systém. Jsou-li agenty fyzické, jde již o CPS systém. Příkladem mohou být automatické autonomní dopravníky.

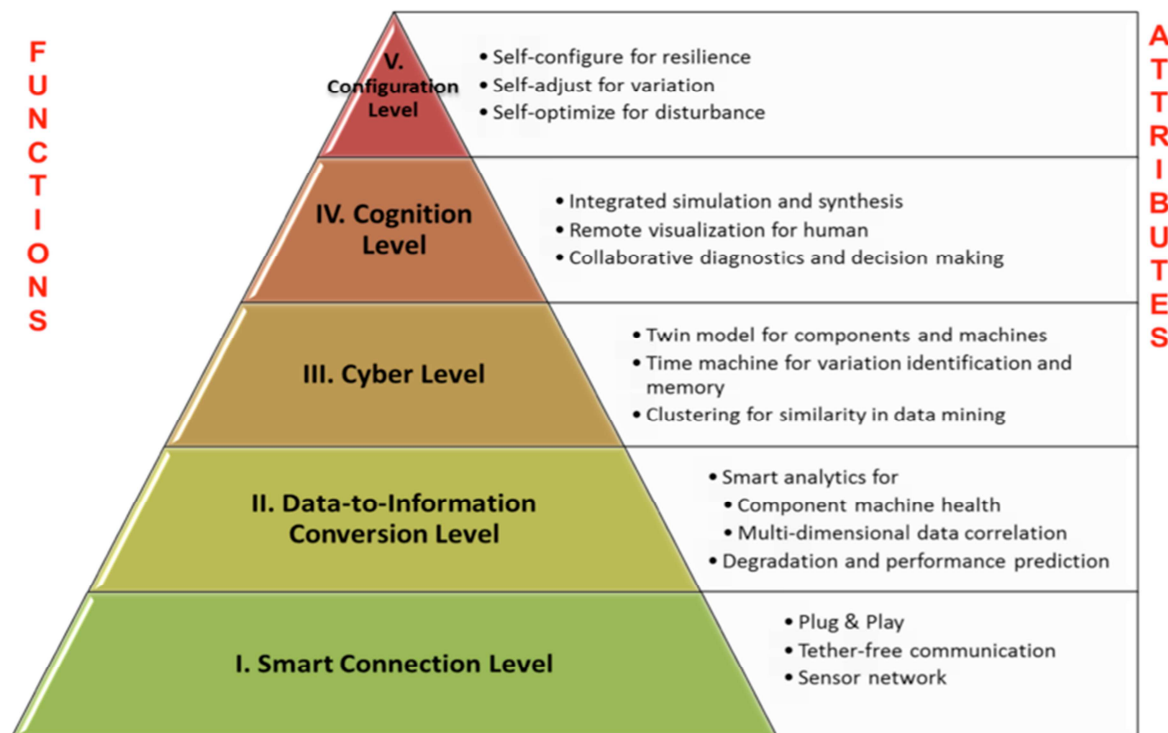


Obrázek 7 Automatický autonomní dopravník [26]

Výhody multiagentních systémů jsou velká flexibilita a odolnost proti poruchám, nevýhodami pak výpočetní a časová náročnost, nutnost jisté standardizace.

**Holonické systémy:** jsou multiagentní systémy, kde agenti tvoří části výrobního zařízení osazené reaktivním řídicím prvkem a softwarovým agentem. Holonický agent je tak schopen činnosti plánovat, koordinovat a aktivně provádět. V holonických systémech může být agentem snímač, aktor, ale i celý stroj, výrobní linka nebo firma.

Návrh a zavádění kyberneticko-fyzikálních systémů lze provést na základě architektury 5C.



Obrázek 8 5C architektura [23]

- 5. konfigurační úroveň** (autonomní konfigurace k zajištění odolnosti, přizpůsobení změnám a samo-optimalizace vzhledem k rušení)
- 4. úroveň poznání** (integrovaná simulace a syntéza, vzdálená vizualizace pro lidskou obsluhu, spolupráce při diagnostice a rozhodování)
- 3. kybernetická úroveň** (obdobný model pro komponenty a celé stroje, „stroj času“ pro identifikace změn a události v paměti, shlukování dat kvůli shodám na poli získávání dat)
- 2. konverzní úroveň** (smart analýza kondice strojů a vícerozměrné korelace dat, předvídání degradace entit a jejich výkonu)
- 1. úroveň připojení** (plug & play, bezdrátová komunikace, senzorové sítě)

### **Kyberneticko-fyzikální systém a internet věci**

Jednotlivé fyzické entity zapojené do internetu věcí navzájem dokáží komunikovat, nemusí však mít nutně vlastní řídicí algoritmus. Internet věcí svou podstatou umožňuje realizovat kyberneticko-fyzikální systémy, samotný kyberneticko-fyzikální systém však může využívat i jakoukoli jinou síť. [19, 23]

Kyberneticko-fyzikální systémy mají využití i mimo průmysl, běžní lidé je mohou využít například jako autonomní vysavače nebo sekačky trávy.

#### **1.3.8 Chytrá údržba**

Cílem chytré údržby je proaktivně předvídat a optimalizovat proces údržby, oprav a provozu, prováděné udrhovatelem zařízení u zákazníka. Proto je nutné, aby stroje odesílaly svá data o jejich stavu na vzdáleně umístěné servery. [27]

Tento koncept může mít využití i mimo průmysl, například u spotřebičů, automobilů atp.

#### **1.3.9 Mobilní pracovní prostředky**

Cílem této technologie je, aby dělníci byli vybaveni mobilním zařízením pro zobrazení rozšířené reality, tím získají přístup k procesům v reálném čase. [19]

Rozšířená realita je pojem používaný pro zobrazení reality a následného přidání digitálních prvků. Například text, 2D objekty, 3D objekty, obrázky, videa či zvuky. Zařízení, které zobrazuje rozšířenou realitu, může být připojeno k internetu, tím uživatel získává informace v reálném čase. [16, 28]

Rozšířená realita se již používá například v civilním sektoru, kde se využívá převážně tak, že uživatel snímá prostředí kamerou chytrého telefonu. Ten dále využívá například GPS modul, digitální kompas a připojení k internetu. Zařízení tak dokáže rozeznat, kde se uživatel s telefonem nachází a na co se přes kameru telefonu dívá. Na základě toho, lze pomocí rozšířené reality doplnit do obrazu celou řadu informací, které jsou umístěné v databázi, kterou aplikace prohledává online přes internet. [16, 28]

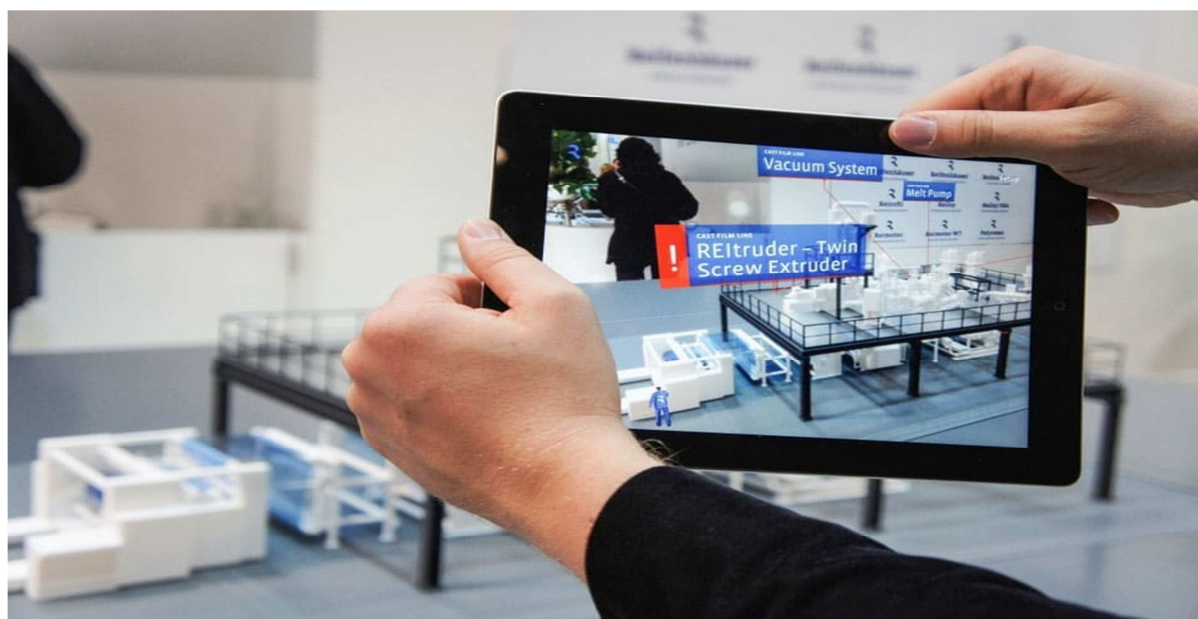
Mobilní zařízení schopné práce s rozšířenou realitou se dá rozdělit do dvou kategorií:

- Video see-through (mobil, tablet) rozšířená realita promítána do videosignálu promítaného na obrazovce.
- Optical see-through (brýle, náhlavní display, čočky) rozšířená realita je promítána přímo do cesty, kterou prochází obraz reálného světa do očí uživatele.

V konceptu Industry 4.0 má rozšířená realita své místo, její nasazení například v logistickém řetězci by mohlo vypadat následovně:

- Nezaškolený pracovník ve skladu přijme požadavek na přípravu součástek.
- Nasadí si brýle promítající rozšířenou realitu, které mu ukazují cestu k cíli.
- Mezitím vznikne další požadavek na přinesení součástek, které jsou poblíž prvního cíle.
- Systém vyhodnotí, že je pracovník schopen přinést součásti pro oba požadavky.
- Poté co dělník zkompletuje díly pro první požadavek, brýle mu automaticky ukáží cestu k druhému cíli.
- Po komplectaci druhého cíle brýle budou navigovat pracovníka zpět k výdeji dílů.

[16, 28]



Obrázek 9 Mobilní zařízení ukazující rozšířenou realitu [28]

### 1.3.10 Autonomní vozidla

Autonomní vozidlo, je motorové vozidlo, které ke svému provozu nepotřebuje řidiče a orientuje se zcela za pomoci počítačových systémů, které detekují okolí vozidla a určují jeho trasu. Detekce okolí může probíhat pomocí různých systémů například radar, lidar, satelitní navigace nebo kamer. [29]

V současné době se ve skladech již používána autonomní přeprava a asistovaná příprava zboží k odběru, která je průběžně zdokonalována zaváděním nové techniky v oblasti navigace a situační analýzy. Současné nejmodernější systémy spoléhají na kombinaci hloubkových kamer a laserů na vozidle, které snímají kompletní prostor kolem vozidla a vytváří si na jeho základě prostorovou mapu pro následnou navigaci. Tato technika umožňuje ještě větší autonomii vozidel a rozmanitější aplikace. Autonomní vozidla ve skladech jsou schopná nejen přepravovat zboží, ale zajišťovat i jeho nakládání a vykládání, což zvyšuje efektivitu celého procesu. Flexibilitu zvyšuje inteligentní řízení propojené s objednávkovým systémem. [30]



V současné době zároveň existují prototypy autonomních osobních i nákladních vozidel, které jsou bezpečnější a efektivnější, tento koncept pravděpodobně změní celý pohled na dopravu. [30]

### 1.3.11 Inteligentní produkt

Produkt ponese příslušné informace o svém stavu, to umožní, aby byl sledován a systém přesně věděl, kde se nachází. Dále ponese informace pro stroj, který rozhoduje, jak s ním bude naloženo. [19,31]

### 1.3.12 Aditivní výroba (3D tisk)

Aditivní výroba (anglicky 3D printing neboli additive manufacturing (AM)) označuje proces, který vytváří trojrozměrné objekty tak, že postupně skládá vrstvu po vrstvě určitého materiálu a tím vytváří objekt vytvořený v systému CAD (Computer aided design). [32]

Již v dnešní době se 3D tisk velmi rozšířil. Využívá se hlavně pro tisk prototypů (Rapid prototyping), ale i pro tisk výrobních a plně funkčních dílů. Tyto prototypy jsou většinou nevhodné k většímu zatížení a slouží hlavně k představě o vzhledu.

Přístroje pro 3D tisk se liší ve způsobu, jakým jsou vrstvy tvořeny a jak jsou spojeny, jak je vyrobený objekt přesný k originálnímu modelu, mechanickými vlastnostmi, ceně a rychlostí výroby.

Nezákladnějším, odlišujícím principem 3D tisku je vrstvení materiálu, což je hlavní rozdíl oproti jiným tradičním způsobům výroby, při kterých se např. u obrábění musí odebírat materiál z polotovaru, ani se materiál nepřidává najednou jako je tomu u odlévání a není tedy nutné vyrábět formu na odlití. Při 3D tisku tedy nevzniká žádný odpad jako při konvenční výrobě a zároveň lze bez potíží udělat model dutý a ušetřit tak materiál, čas i energie. [33]

#### Vybrané metody 3D tisku:

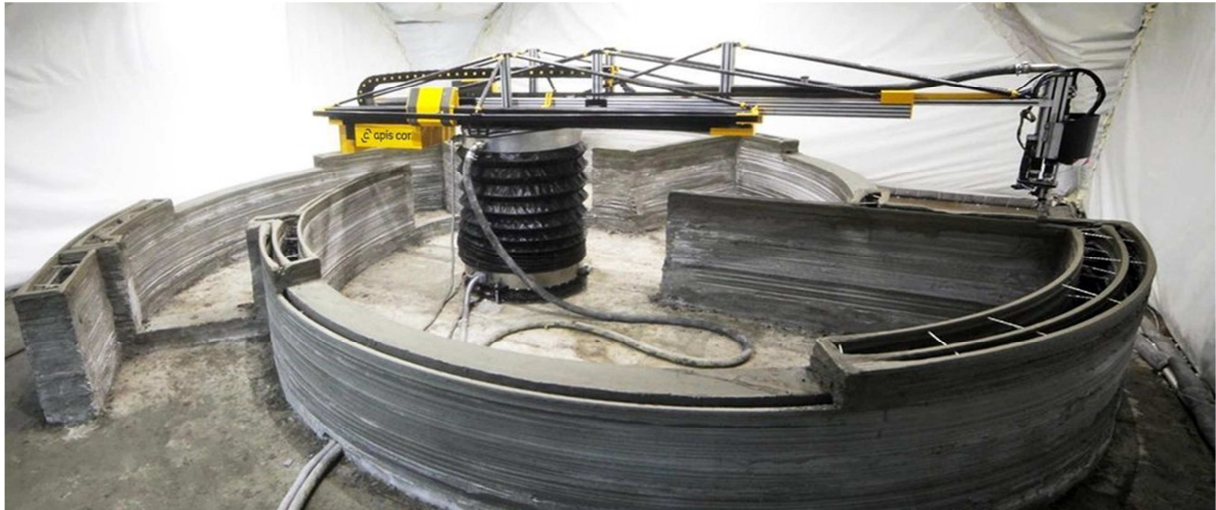
**Stereolitografie (SLA).** Model při tomto postupu vzniká působením ultrafialového laserového paprsku na tekutou fotopolymerickou pryskyřici, která je působením laseru ztvrdována ve vrstvách. Výhodou je možnost vytvářet velké modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi, nevýhodou je vysoká cena a pomalá rychlost tisku. [34,35]

**Selective Laser Sintering (SLS).** Metodou Selective Laser Sintering (SLS) vzniká objekt tavením práškového materiálu (tím může být např. plast, kov, keramika nebo sklo), který je po tenkých vrstvách spékán v ploše řezů dle digitálního modelu vysoce výkonným laserem. [34,35]

**Fused Deposition Modelling (FDM),** je jednou z nejrozšířenějších metod. Princip FDM spočívá v tavení plastu nebo kovu ve formě vlákna uvnitř extruzní hlavy, která taveninu vytlačuje na podložku a svým pohybem ve dvou osách postupně nanáší velmi tenkou vrstvu materiálu. Nejčastějšími materiály jsou termoplasty. [34,35]

Metod 3D tisku existuje více, nicméně výše uvedené metody patří k nejzákladnějším a nejvyužívanějším metodám. [34,35]

3D tisk má a bude mít obrovské využití jak v civilním sektoru, výrobním sektoru nebo ve stavebnictví kde lze tisknout celé budovy.



Obrázek 10 3D tiskárna tisknoucí obytný dům [36]

### 1.3.13 Robotika

Robotika je věda o robotech, jejich designu, výrobě a aplikacích. Robot může buď pomáhat, nebo dělat lidskou práci. Robotika úzce souvisí s elektronikou, mechanikou a programováním. [37]

Používání flexibilních robotů rozšiřuje inteligenci, automatizuje určité procesy a vytváří nové formy interakce pracovních robotů. [19]

V konceptu Industry 4.0 mají roboti své místo, prakticky bez nich by tento koncept nemohl existovat. Využití robotů je možné i mimo průmysl, kde mohou pomáhat běžným lidem.



Obrázek 11 Robot LS3 pro přepravu materiálu v těžkém terénu [38]

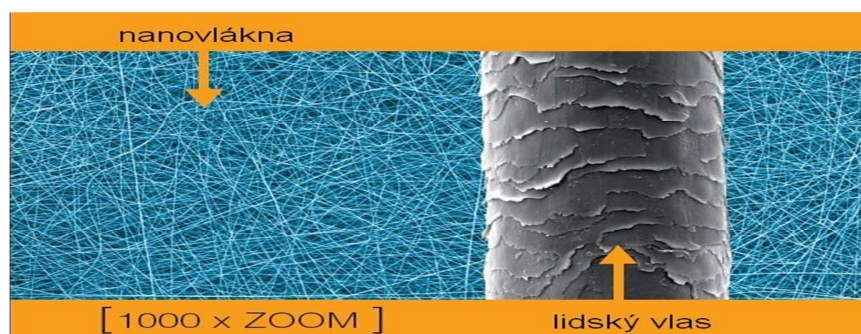
### 1.3.14 Pokročilé materiály

Pokročilý materiál je takový materiál, který může být funkčně a strukturně gradientní, nanostrukturní, inteligentní. Jedná se o keramické materiály, polymery, kovy a kompozity. [39]

Jedním z využívaných pokročilých materiálů v Industry 4.0 jsou nanomateriály. Nanomateriály jsou chemické látky nebo materiály skládající se z částic, jejichž velikost se minimálně v jednom rozměru pohybuje od 1 do 100 nanometrů (nm). Vzhledem ke zvýšenému objemu specifického povrchu mohou mít nanomateriály ve srovnání se stejnými materiály, jejichž rozměry nejsou v řádu nanometrů, odlišné charakteristické vlastnosti. Fyzikálně-chemické vlastnosti nanomateriálů se proto mohou lišit od vlastností velkoobjemových látek nebo částic o větší velikosti. [40]

Vzhledem k tomu že pokročilé materiály mohou být heterogenní a anizotropní, je nutné vyvíjet nové počítačové modely simulační modely. Například skupina vedená prof. Josefem Jančářem provádí vývoj nových simulačních postupů a metod počítačového modelování vztahů struktura-vlastnost-funkce v heterogenních polymerních materiálech a defekty v anizotropních polymerních systémech podporujících počítačový návrh materiálu, difuzi non-Fickian v degradaci pevných látek, pro předpověď životnosti polymerního odpadu. [40]

Pokročilé materiály mají a budou mít využití jak v průmyslu, tak pro potřeby běžných lidí.



Obrázek 12 Nanovláknna [41]

### 1.3.15 Reagující výroba

Po mnoho let bylo paradigmatem výroby koncept tok jednoho kusu (one-piece-flow). Ten umožňuje maximální využití strojů, minimum odpadu a minimální zásoby. Nicméně požadavky konceptu Industry 4.0, se s tímto konceptem neshodují, konkrétně požadavek zákazníků aby měli produkt přímo na míru. Systém budoucí výroby by měl být složen ze sítě univerzálních strojů, schopných okamžitě reagovat na požadavky zákazníků přicházejících přes internet. [19]

Dále by stroje v chytré továrně mohli fungovat na konceptu podobný jako SaaS (Software as a service). S průmyslovým internetem věcí se tento model bude aplikovat i na dané stroje. Provozní data založená na cloudu a monitorování stavu zařízení v reálném čase umožňují výrobcům strojů vždy mít plnou kontrolu nad provozem. To by mohlo vést k inteligentní továrně, kde se kapacita stroje prodává hodině nebo dokonce využitím. [19]

Tento systém je pouze výrobní, ale některé jeho modely by mohli být přeneseny do společnosti a využívat by je tak mohli i běžní lidé.

## 2 Současný stav objektu

V současném stavu se jedná o běžný rodinný dům 3+1. Dále je v domě sklep, kotelna, prádelna a sušárna. Celková obytná plocha je cca 155 m<sup>2</sup>. Na pozemku se dále nachází zahrada o rozloze cca 180m<sup>2</sup>, garáž, dílna, kůlna, výběh pro chov drůbeže a studna. Půdorys domu je zobrazen na obrázku 14 a 15.

V současné době neexistuje v objektu žádný centrální systém a o veškeré úkony se musí starat uživatelé. Jak přesně probíhají veškeré úkony a v čem budou přínosné nové chytré řešení, bude popsáno na konci každé kapitoly.

Vytápění je v domě řešeno jako ústřední vytápění s osmi litinovými radiátory, každý je opatřen regulačním a odvzdušňovacím ventilem. Oběh vody ve vytápění je přirozený. Zdrojem tepla je kotel Viadrus U22-C 4 článkový o výhřevné ploše 2 m<sup>2</sup> a výkonu 23,2 kW a spotřebě 95 q černého uhlí za topnou sezónu, kotel spotřebuje 4,95 kg uhlí každou hodinu.

Za topnou sezónu je tedy kotel v provozu:  $\frac{\text{Celkové množství uhlí}}{\text{hodinová spotřeba}} = \frac{9500}{4,95} \cong 1919$  h a vyrobí tak  $\text{výkon kotle} \times \text{hodinový provoz} = 23,2 \times 1919 = 44\,525$  kWh tepelné energie.

Cena černého uhlí v okrese Kladno se pohybuje okolo 330 Kč/q. Cena uhlí pro topnou sezónu je tedy  $330 \times 95 = 31\,350$  Kč.

Spotřeba elektrické energie se každoročně pohybuje okolo 3065 kWh v NT a 1835 kWh ve VT. Tarif je od firmy ČEZ D 25d pro akumulaci ohřev teplé vody kde je NT účtován v noci po dobu 8h ceny za tento tarif jsou patrné z obrázku 13. Elektrická energie spotřebovaná v NT stojí přibližně  $3065 \times 1,9 \cong 5823$  a ve VT  $1835 \times 4,54 \cong 8331$  dohromady 14154 Kč.

V domě jsou čtyři spotřebiče, co fungují v nízkém tarifu. Jedná se o ledničku, pračku, mrazák a boiler. Lednička s mrazákem spotřebují okolo 500 kWh ročně, nicméně v NT fungují pouze 1/3 svého provozu a tím v NT spotřebují 167 kWh. Průměrná spotřeba pračky dle výrobce je 148 kWh ročně a uživatelé jí zapínají téměř vždy na noc. Boiler funguje pouze na NT a má tedy spotřebu  $3065 - 167 - 148 = 2750$  kWh za rok. Spotřeba elektrické energie pro nabití mobilního telefonu je zanedbatelná (0,01 kWh), proto není ve výpočtu uvedena.

**Tabulka 1 Cena tarifu elektrické energie [54]**

### Dvoutarifová sazba – Cena za 1 kWh [Kč]

		E.ON	ČEZ	PRE
<b>D 25d</b> (akumulační ohřev vody)	<b>Vysoký tarif (VT)</b>	4,69	4,54	4,37
8 hodin NT, nižší spotřeba	<b>Nízký tarif (NT)</b>	1,99	1,9	1,9
	<b>Paušál za jistič</b>	130,56	136,61	158,39
<b>D 26d</b> (akumulační ohřev vody nebo vytápění)	<b>VT</b>	3,46	3,3	3,36
8 hodin NT, vyšší spotřeba	<b>NT</b>	1,99	1,91	1,9
	<b>Paušál za jistič</b>	178,96	175,33	201,95

Spotřeba vody se pohybuje okolo 78 m<sup>3</sup> za rok. Cena vodného a stočného za m<sup>3</sup> je 93 Kč. Vodné a stočné za rok tedy vychází na  $78 \times 93 = 7254$ .

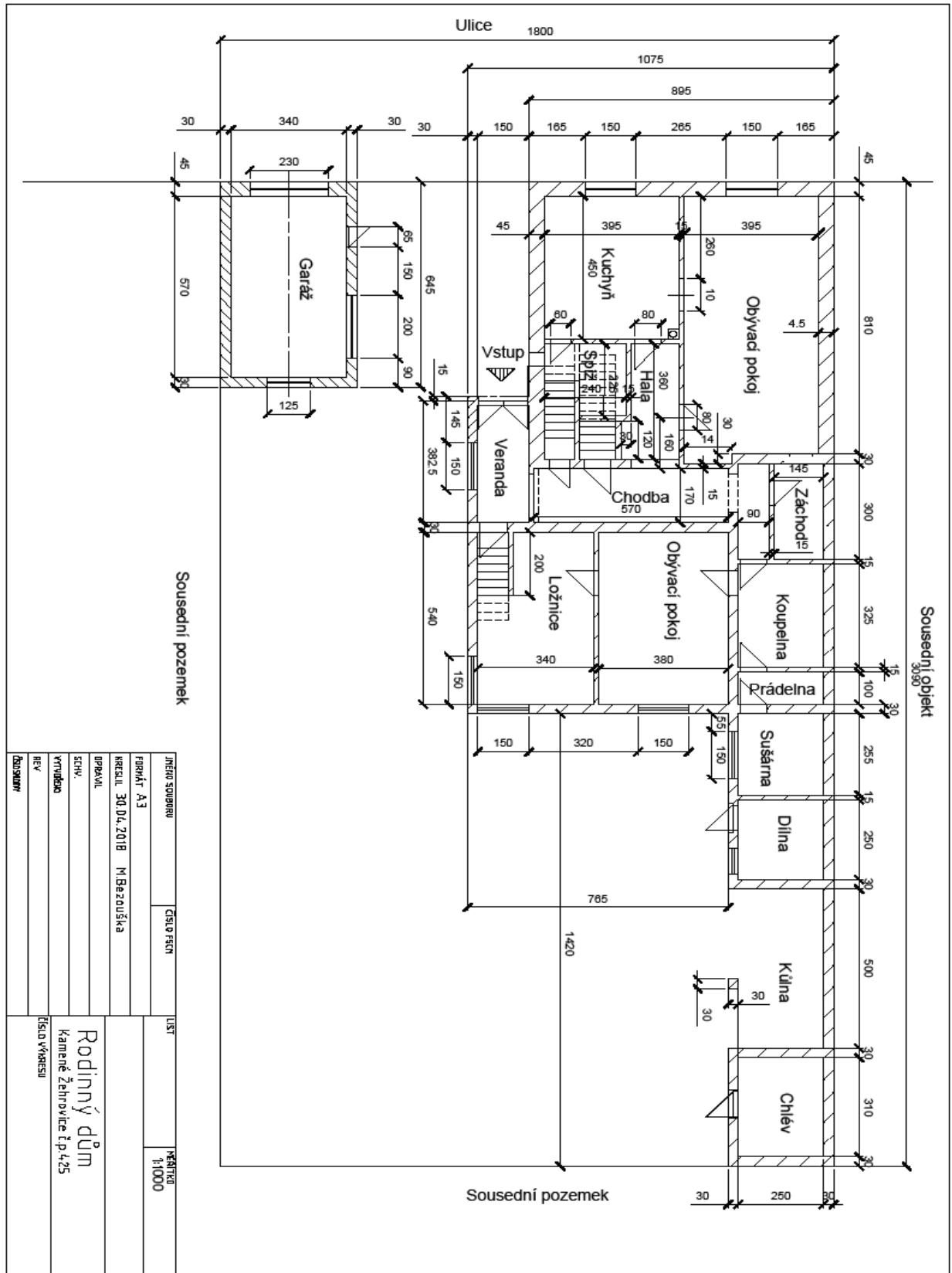
**Tabulka 2 Cena spotřeby energi**

Název nákladů na provoz	Cena v Kč
Uhlí	31 350
Elektřina	14 154
Voda	7254
<b>Celkem</b>	<b>52758</b>

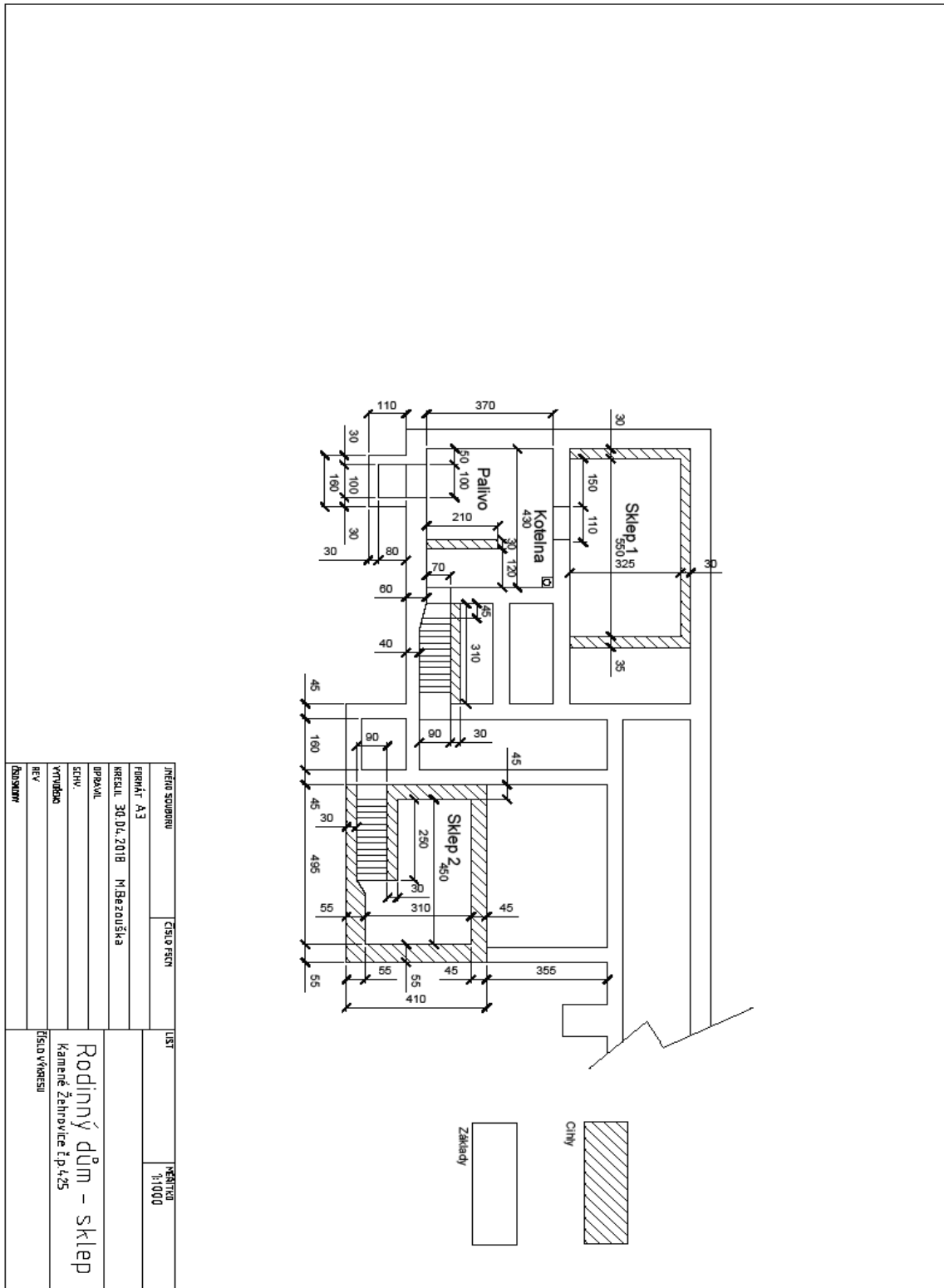
Dalším používaným faktorem je energie používaná pro ohřev vody a vytápění, což je v případě objektu součet: *energie z uhlí* + *energie spotřebovaná boilerem* = 44 525 + 2750 = 47 275 kWh. Náklady v současném objektu na vytápění a ohřev vody jsou 31 350 + 2750 × 1,9 = 36 575.



**Obrázek 13 Rodinný dům**



Obrázek 14 Půdorys domu



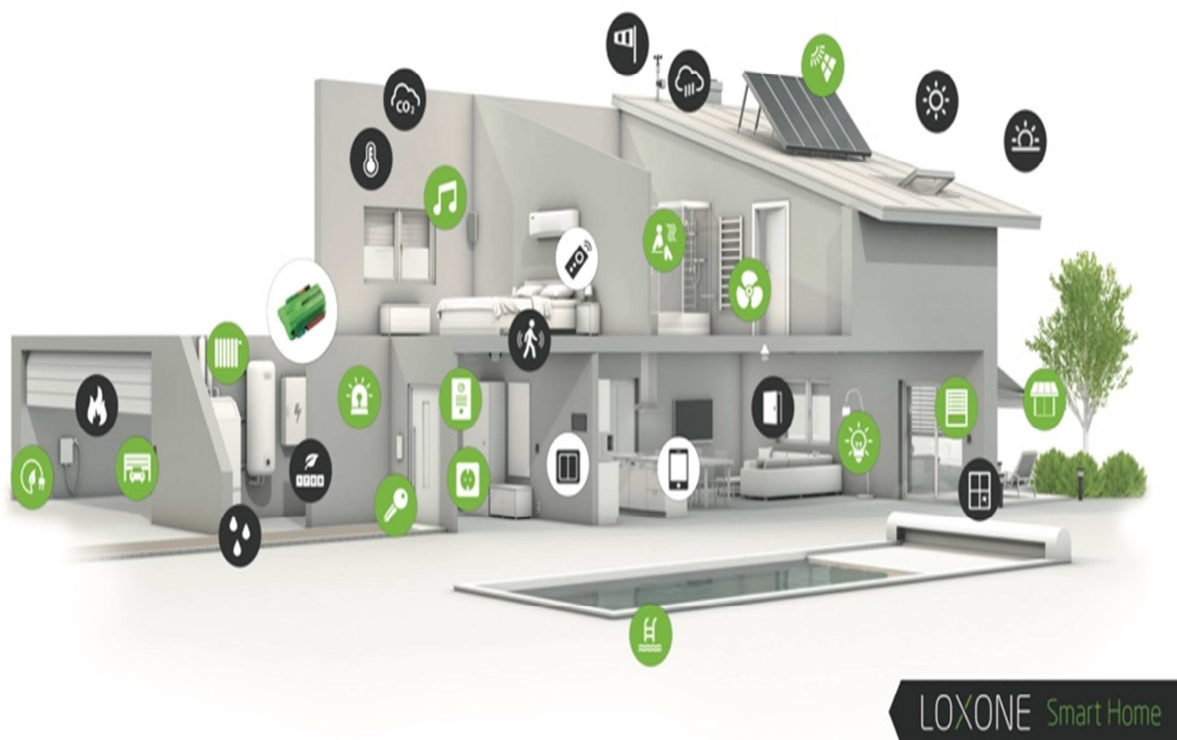
Obrázek 15 Sklep domu

### 3 Chytrý dům

Chytrý dům je takový dům, který zajišťuje optimální vnitřní prostředí pro komfort osob prostřednictvím stavební konstrukce, techniky prostředí, řídicích systémů, služeb a managementu. Je efektivní ekonomicky, energeticky i z hlediska působení na vnější prostředí a umožňuje víceúčelové použití a rekonfigurace. Inteligentní dům reaguje na potřeby obyvatel s cílem zvýšit jejich pohodlí, zpříjemnit jim zábavu, zaručit co nejvyšší bezpečí a snížit náklady na provoz. Často se také používají termíny jako "digitální domácnost", "digitální dům" nebo "inteligentní dům". [20] Je toho docíleno díky systémové elektronice, která je v budově provázána do jednoho funkčního celku. Jednotlivé prvky celku spolu navzájem komunikují a tím je dosažen levnější a ekonomičtější provoz. Například lze uvést to, že systém nedovolí současné vytápění, když je otevřené okno, naopak v létě se při otevřeném okně nezapne klimatizace. [21, 22, 25]

V současném objektu žádný z těchto prvků není. Přínosem těchto prvků je šetření nákladů na energii, zvýšení komfortu uživatelů a ušetření jejich času, protože chytrý dům uživateli ušetří 12 500 úkonů a rozhodnutí za rok. [42]

Běžná instalace SmartHome pro podobně velký objekt skládající se ze systému stínící techniky, ovládání teploty, osvětlení, vzdáleného přístupu, elektroinstalace, tlačítek a senzorů, zabezpečení a automatizace stojí od 180 000 – 320 000 Kč.



Obrázek 16 Příklad chytrého domu [43]



### 3.1 Řízení teploty

Pro efektivní vytápění (chlazení) je vhodné kombinovat různé zdroje tepla. Navíc systém musí pružně reagovat na činnost členů domácnosti – otevření okna, náhlý požadavek na změnu teploty v místnosti atp. Jen díky efektivní a optimální regulaci alternativní zdrojů (solární panely, tepelná čerpadla, rekuperace vzduchu, fotovoltaické články a další) v kombinaci s případnými konvenčními zdroji se dosahuje těch nejvyšších úspor. [44] Díky předchozím prvkům je zajištěno efektivní vytápění objektu, pro uživatelský komfort je neméně důležité inteligentní ovládání regulace teploty. Největší uživatelskou výhodou je bezesporu možnost nastavení ideální teploty v každé místnosti, protože inteligentní topení dokáže regulovat teplotu v každé místnosti samostatně. Zná vlastnosti každé místnosti, bere v potaz svátky, pozná nepřítomnost uživatele a spolupracuje se stínící technikou. Dalším z chytrých prvků je intelligence systému a tudíž systém regulace teploty ví, kdy začít vytápět, větrat či klimatizovat, tak aby uživatel přišel do ideálního prostředí. Ovládat teplotu je možné i vzdáleně například pomocí chytrého telefonu či webového prohlížeče. Systém má také několik módů například dovolená, ochrana před zamrznutím, nemoc atp. [45]

V současném objektu se v zimních měsících řídí teplota intenzitou přikládání tuhého paliva do kotle, který nemá žádný automatický podavač a uživatelé ho musí přikládat manuálně. Kotel je navíc dimenzován i do velice nízkých teplot a tudíž je velice jednoduché dům přetopit. V objektu není žádná možnost jak v letních měsících snížit teplotu. Přínosem chytrého řízení teploty je zvýšení komfortu uživatelů a ušetření jejich času jak přikládáním paliva, tak přípravou paliva.



Obrázek 17 Příklad různě vytápěných místností [45]

Na současném trhu existuje mnoho různých řešení, jak vytápět objekt. Mezi běžné systémy lze zařadit kotel na tuhá paliva, tuhým palivem mohou být například pelety, černé i hnědé uhlí, koks nebo dřevo. Další běžné systémy dostupné na trhu jsou například elektrokotle, kotle na plyn nebo tepelná čerpadla. Všechny tyto systémy mají své výhody i nevýhody, nicméně pro návrh objektu, který je navrhován s ohledem na Industry 4.0. nelze všechny systémy použít.

Konceptu Industry 4.0. z výše uvedených systémů neodpovídá pouze kotel na tuhá paliva, který i v jeho nejmodernějším provedení vyžaduje lidskou obsluhu na doplňování paliva do zásobníku a vynášení popelu. Zbylé tři systémy konceptu Industry 4.0 odpovídají.

### 3.1.1 Elektrokotel

Vytápění elektrickou energií patří dnes mezi nejrozšířenější způsoby vytápění i přesto, že elektřina patří mezi nejdražší zdroje tepla. Elektrická energie se využívá i jako nouzový způsob vytápění v místech kde není například plynofikace. Proto najde elektrokotel v mnoha domácnostech své uplatnění. Zejména proto, že se jednoduše ovládá, má vysokou účinnost a relativně nízké pořizovací náklady. [46, 47]

Elektrokotel je elektrický spotřebič, který slouží k vytápění nejen obytných domů, ale také kancelářských i obytných prostor. Kotel na rozdíl od přímotopů neohřívá dům napřímo. Jako přenosné médium, zde slouží voda, do které se teplo akumuluje. [46]

Elektrokotel funguje na principu ohřevu vody, ta cirkuluje v topné soustavě. Takzvané topné patrony se průchodem elektrického proudu rozžhaví a poté teplo předávají přímo do vody. Teplou vodu následně oběhové čerpadlo rozvádí dále trubkami do radiátorů v jednotlivých místnostech. Přesto, že je zde jistá schopnost akumulace tepla v radiátorech, je potřeba vodu neustále dohřívat. Hned když klesne teplota v místnosti pod určenou teplotu, sepne termostat elektrokotel, který ohřeje další vodu. [46, 48]

Termostat je spínací zařízení, které je schopné zapínat a vypínat tepelný zdroj. Pomůže nám tak udržet stálou teplotu v určité místnosti. Mezi nejjednodušší regulátory teploty patří pokojové termostaty. Tyto termostaty zapnou kotel při poklesu pod nastavenou teplotu a vypnou ho při dosažení nastavené teploty. V nabídce na trhu najdeme termostaty:

- drátové – obrázek 18
- bezdrátové, které jsou velmi rozšířené [49]



Obrázek 18 Drátový termostat [49]

Drátový Inteligentní prostorový termostat PT 22. Poskytuje týdenní program umožňující až 6 teplotních změn v každém dni a splní i nejnáročnější požadavky na regulaci teploty. [49]



**Obrázek 19 Bezdrátový termostat [49]**

Bezdrátový termostat BPT01 nabízí vyšší komfort ovládání, moderní design a montáž bez sekání zdi. [49]

Vše může pracovat v plně automatickém režimu. Například inteligentní termostat s GSM modulem PT32 GST, má možnost dálkového ovládání pomocí mobilního telefonu. Krátkou SMS je možné třeba změnit požadovanou teplotu nebo vypnout kotel. [50]

Elektrická energie se nejčastěji využívá k teplovodnímu vytápění s centrálním zdrojem tepla. Tuto funkci zastává elektrokotel, který dodává teplo do místností prostřednictvím radiátorů nebo podlahovými rozvody. Pokud se uživatel rozhodne pro instalaci elektrokotle, musí mít souhlas distribuční firmy. Ta mu přidělí příslušný příkon a tarif. [47]

Elektrokotel, tak jako všechna tepelná zařízení má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří:

- vysoká účinnost
- nízká pořizovací cena
- nenáročný na obsluhu
- odběr elektřiny v nízkém tarifu
- bezhlučnost
- ekologický provoz [46, 51]

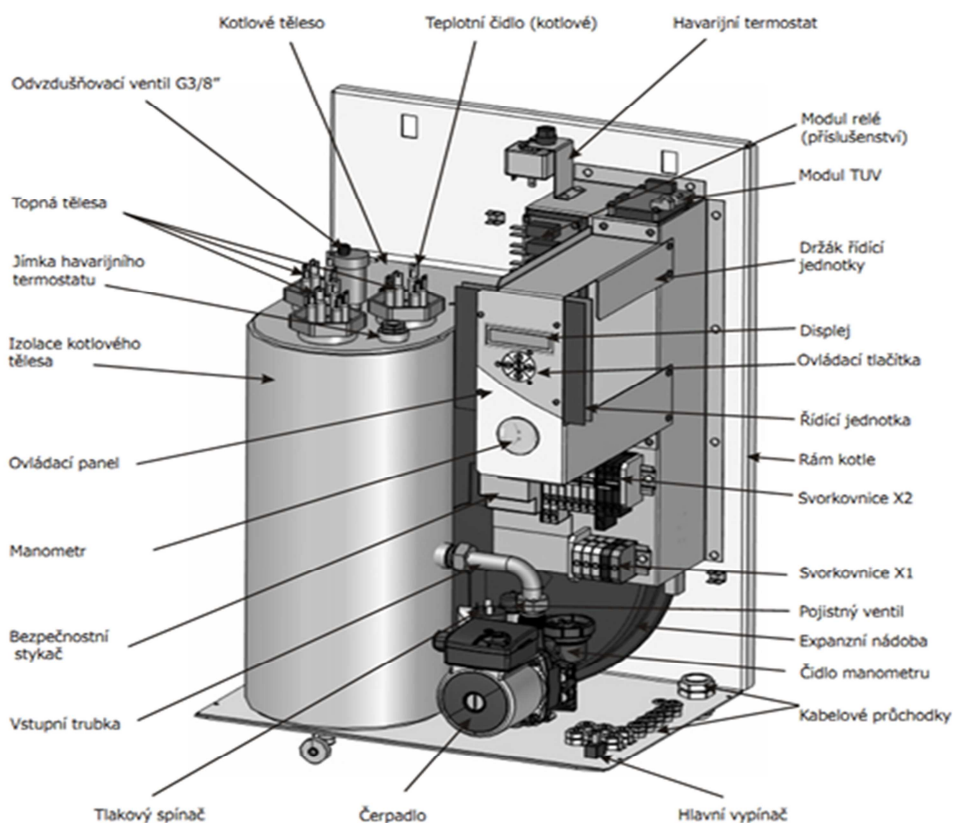
Pro vytápění rodinného domku lze například využít nástěnný elektrický kotel ELECTRA Komfort, který ve své konstrukci využívá prvky moderní technologie a designu. Díky unikátním vlastnostem nového elektrického kotle můžete topit úsporně a přitom velmi komfortně.



**Obrázek 20 Mora-Top Electra 24 Komfort [52]**

Doporučená cena výrobce s DPH je 28 738,- Kč. Výkon kotle je 23 kW. Přednosti tohoto kotle jsou například: vysoká účinnost (99%), tichý provoz, malé rozměry, plynulá regulace výkonu (ekonomický provoz). [52]

Hlavní části kotle jsou vidět na obrázku 21.



**Obrázek 21 Hlavní části kotle [53]**

Mezi nevýhody elektrokotle patří:

- vyšší požadavky na dostatečnou kapacitu elektrické sítě a hodnotu jističe
- není vhodný do energeticky náročných objektů
- vysoká a nestálá cena elektřiny [51]

Cena elektřiny je závislá na tom, zda domácnost využívá jednotarifovou sazbu (elektřina se využívá pouze pro osvětlení a napájení nenáročných spotřebičů a cena za kWh se v průběhu dne nemění) nebo dvoutarifovou sazbu. Ta je rozdělena do osmi typů dle způsobu vytápění. Během dne se střídají dražší a levnější ceny za 1 kWh. Jednotlivé typy sazeb rozlišují i poměr hodin, ve kterých se platí vysoký a nízký tarif. V tabulce 3 jsou uvedeny dvoutarifové sazby třech významných dodavatelů elektrické energie k 19. 4. 2018. [54]

**Tabulka 3 Dvoutarifová sazba [54]**

**Dvoutarifová sazba – Cena za 1 kWh [Kč]**

		E.ON	ČEZ	PRE
<b>D 25d</b> (akumulační ohřev vody)	Vysoký tarif (VT)	4,69	4,54	4,37
8 hodin NT, nižší spotřeba	Nízký tarif (NT)	1,99	1,9	1,9
	Paušál za jistič	130,56	136,61	158,39
<b>D 26d</b> (akumulační ohřev vody nebo vytápění)	VT	3,46	3,3	3,36
8 hodin NT, vyšší spotřeba	NT	1,99	1,91	1,9
	Paušál za jistič	178,96	175,33	201,95
<b>D 27d</b> (elektromobil)	VT	3,46	3,3	3,36
8 hodin NT	NT	1,99	1,91	1,9
	Paušál za jistič	130,56	136,61	158,39
<b>D 35d</b> (smíšené elektrické vytápění)	VT	3,23	3,01	2,64
16 hodin NT	NT	2,32	2,2	2,06
	Paušál za jistič	195,9	218,89	206,79
<b>D 45d</b> (přímotopy)	VT	3,09	2,81	2,74
20 hodin NT	NT	2,39	2,35	2,31
	Paušál za jistič	212,84	228,57	230,99
<b>D 56d</b> (tepelné čerpadlo)	VT	3,09	2,64	2,55
22 hodin NT	NT	2,4	2,4	2,14
	Paušál za jistič	212,8	228,57	230,9
<b>D 57d</b> (topný elektrický spotřebič)	VT	2,97	2,5	2,61
20 hodin NT	NT	2,45	2,43	2,34
	Paušál za jistič	197,11	204,37	246,72
<b>D 61d</b> (chata a chalupa)	VT	6,1	5,78	5,1
NT od pátku 12:00 do neděle 22:00	NT	2,24	2,25	1,81
	Paušál za jistič	96,68	91,84	11,2

pozn: Paušální poplatek za jistič je specifikován jako jistič do 3x10 A do 1x25 A včetně.

Vytápění elektrokotlem patří mezi ty nákladnější. Jsou však situace, kdy právě elektrokotel zajistí nejlepší tepelný komfort a přitom nebude velkou finanční zátěží.

- **Temperování objektu** – vhodný pro nepravidelně obývaný objekt, kdy elektrokotel s termostatem zajistí vnitřní teplotu nad nulou bez ohledu na venkovní mrazy.
- **Doplňkový zdroj vytápění** – velká část rodinných domů v České republice používá kotle na pevná paliva, které nemají automatické přikládání. Elektrokotlem lze pak přitápět například v noci, nebo kdy majitelé nejsou doma. Ze stejného důvodu je i výhodná kombinace elektrokotel a krbová kamna.
- **Nízkoenergetické a pasivní domy** – u domů a bytů s nízkou energetickou ztrátou je možné použít elektrokotel jako primární zdroj vytápění. V případě nízkooenergetických a pasivních domů je také nepopíratelnou výhodou elektrokotle možnost plynulé regulace v celém rozsahu výkonu kotle.
- **Nízké počáteční investice a vysoká účinnost** – cenová hranice nového elektrokotle začíná kolem 20 000,- Kč a ani jejich instalace není nákladná. Na tento typ zařízení se nevztahuje povinnost pravidelných revizí. Elektrokotle dosahují vysoké účinnosti, u moderních se účinnost pohybuje na hranici 99%.
- **Malé domy a byty** – čím je nižší spotřeba elektrické energie, tím je výhodnější pořízení elektrokotle. Vhodné je ho využít v zateplených rodinných domech, rekreačních objektech a v bytech. Pro obyvatele bytů má výhodu jeho tichý provoz, malé rozměry. Obzvláště majitelé bytů ocení, že elektrokotel nepotřebuje zajistit odtah spalin nebo komínovou cestu. [55]

Náklady na vytápění a ohřev vody pomocí elektrokotle při přechodu na tarif pro elektrokotle D57d od společnosti PRE kde je nejnižší cena za 1 kWh by v daném objektu stála  $47\,275 \times 2,34 = 110\,623$  Kč

### 3.1.2 Kotel na plyn

Vytápění zemním plynem patří mezi ekologicky významné způsoby vytápění objektů. Vzhledem k rozšiřující se síti veřejných plynovodů je vytápění plynem dostupné ve většině českých obcí a měst. [56, 57]

Plynový kotel je topidlem, které obstará vytápění bez neustálé přítomnosti člověka, bez navážení paliv. Jedná se o druh topného kotle, kde se spalováním plyných paliv vyvíjí teplo, kterým se ohřívá teplotonosná látka. Pracuje na podobné principu jako elektrokotel. Spalováním plynu se teplotonosná látka ohřívá ve výměníku a je vedena do radiátorů nebo jiných topidel. Hned když klesne teplota v místnosti pod určenou hodnotu, sepne termostat plynový kotel a ten ohřeje další vodu. Vše může pracovat v plně automatickém režimu. [57, 58]

Základní rozdělení kotlů je ve spalování zemního plynu a v jejich účinnosti. Kotle na zemní plyn mají vysokou účinnost spalování, která je různá. Jedná se o tyto druhy kotlů:

- **Konvenční kotle** s účinností od 80% až do 95%, pracují s výhřevností. Energie obsažená ve vodní páře je nevyužita a odchází komínem do ovzduší.
- **Kondenzační kotle** dosahují účinnosti až 109 %, pracují se spalným teplem. Vodní pára se vrací zpět, aby dala energii do topného systému, které je například využito pro vytápění objektu. [59]

Vzhledem k nařízení č. 813/2013, nesmí být po 26. září 2015 uváděny na trh kotle na zemní plyn se jmenovitým výkonem do 70 kW, jejichž sezónní energetická účinnost vytápění je nižší

než 86 %. To pak vyřazuje všechny klasické kotle a na trh mohou být uváděny pouze kondenzační plynové kotle. Kondenzační kotle jsou považovány za efektivnější zdroj vytápění než běžné plynové kotle, u nichž jsou spaliny odváděny přímo do komína. [60]

Z tohoto důvodu bude v práci zmiňován již jen kondenzační plynový kotel, který je navržen tak, aby získal co nejvíce ze zbytkové energie. K vytápění využívá kromě energie spalování navíc skupenského tepla, které vydají spaliny při změně skupenství z plynu na kapalinu. Tím kondenzační plynový kotel dosahuje nejvyšší účinnosti ze všech typů plynových kotlů. Další výraznou výhodou je, že spaliny, které opouští kotel, mají vzhledem k zchlazení v kondenzátoru nízkou teplotu. Proto není potřeba mít klasický zděný komín, ale pro odvod spalin postačuje i plastová trubka vyvedená přes zeď.

Kondenzační plynové kotle jsou na trhu ve dvou základních provedeních a to, podle umístění kotle ve vytápěném objektu. Jedná se o závěsné plynové kotle a stacionární plynové kotle. [56]

**Závěsné** kondenzační plynové kotle jsou nenáročné na prostor, lze je umístit všude, kde je na ně místo a odkud je možno odvádět spaliny.



**Obrázek 22 Protherm Panther Condens 25 KKO-A [61]**

Řada závěsných kondenzačních kotlů Panther Condens se svým vysokým stupněm účinnosti až 109,5 % a použitou osvědčenou technologií nerezové spalovací komory se řadí k vrcholným produktům evropského trhu. Při vývoji kotle byl kladen důraz zejména na šetrnost k životnímu prostředí a intuitivní obsluhu. Kotle nabízí široký výkonový rozsah, nízkou spotřebou plynu a moderní design. [61]

**Výhody** závěsných plynových kotlů:

- Malé rozměry
- Velká nabídka na trhu
- Nižší pořizovací cena

**Nevýhody** závěsných plynových kotlů:

- Omezený výkon kotle [56]

**Stacionární** kondenzační plynové kotle jsou všechny, které stojí na podlaze.



**Obrázek 23 Protherm Medvěd Condens 25 KKS [62]**

Stacionární kondenzační kotel pro vytápění s plynulou modulací výkonu a autodiagnostikou, který je pro vytápění a přípravu teplé vody v externím nepřímo ohřívaném zásobníku. Velký objem primárního tepelného výměníku zaručuje bezproblémové výměny ve stávajících topných soustavách. Velmi snadná údržba a robustní konstrukce kotle s vysokou odolností proti zanášení výměníku zaručuje dlouhou životnost. [56]

**Výhody** stacionárních plynových kotlů:

Dlouhá životnost

Vysoká účinnost

**Nevýhody** stacionárních plynových kotlů:

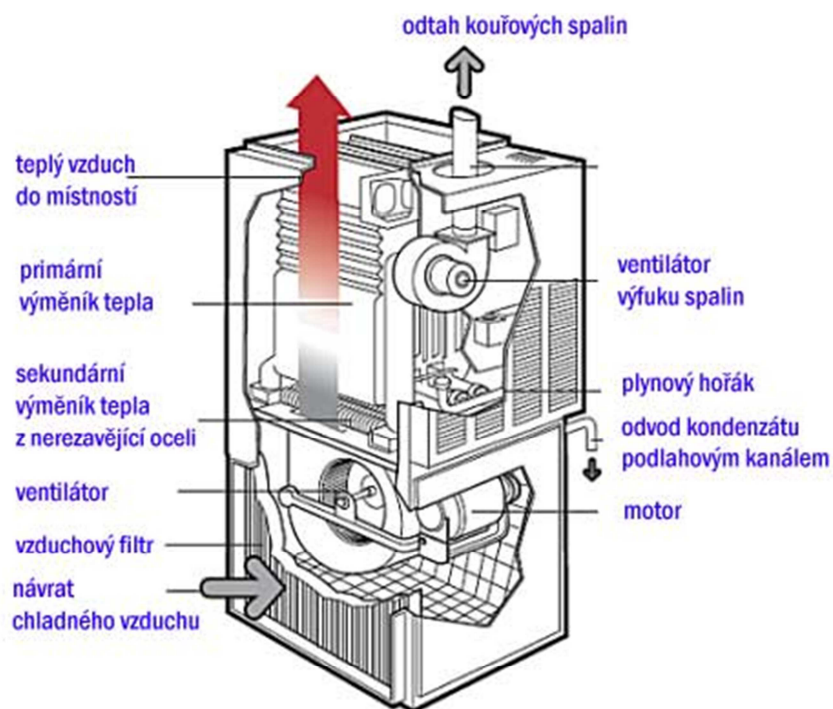
Vyšší pořizovací cena

Vyšší provozní náklady ve srovnání s tuhými palivy [56]

Princip činnosti kondenzačního plynového kotle spočívá v tom, že dále zpracovává teplo odpadních spalin. V sekundárním výměníku tepla (kondenzátoru) dochází ke zchlazení těchto spalin, tímto dojde ke kondenzaci obsažené vodní páry a k uvolnění kondenzačního tepla. Tímto způsobem lze dodatečně získat dalších až 11 % účinnosti plynového kotle. Teoretická účinnost uváděná některými výrobci a prodejci kondenzačních plynových kotlů je tedy až 111 %. Na obrázku 24 jsou popsány a vyobrazeny části kondenzačního plynového kotle. [56]



## Popis kondenzačního plynového kotle



Obrázek 24 Kondenzační plynový kotel [56]

I přes větší počáteční investici do kondenzačního plynového kotle, můžeme očekávat návratnost investice již po čtyřech až pěti letech provozu kotle. Je však nutné, aby byl kotel správně dimenzován a dům dostatečně zateplen.

K výhodám kondenzačních kotlů na plyn patří:

- Přijatelná cena topných plynů
- Vysoká výhřevnost
- Minimum exhalací
- Vysoká účinnost
- Nepotřebují zděný komín [56]

Ceny plynu se v České republice velmi liší. Ceny se liší podle dodavatelů i podle jednotlivých regionů. Cena plynu se pro domácnosti pohybuje mezi 6,28 – 18,66 Kč m<sup>3</sup>. Aktuální průměrná cena plynu (duben 2018) je 11,04 m<sup>3</sup>. [63]

Pro srovnání cen byla na kalkulátoru zadaná spotřeba 47 275 kWh pro vytápění a ohřev teplé vody v regionu Kladno, kde se nachází daný objekt. V tabulce 1 je nejlevnější spotřeba, nejdražší spotřeba a dále ceny třech významných dodavatelů plynu v regionu. [64]

**Tabulka 4 Srovnání cen plynu pro 47 275 kWh [64]**

<b>Dodávka zemního plynu 47 275kWh</b>		
<b>dodavatel</b>	<b>platnost od:</b>	<b>cena za rok</b>
<b>BOHEMIA ENERGY</b>	<b>1.3.2018</b>	<b>41 586 Kč</b>
<b>Stabil Energy</b>	<b>1.1.2018</b>	<b>77 051 Kč</b>
ČEZ	15.4.2018	52 692 Kč
Innogy	1.5.2018	53 073 Kč
E.ON	1.4.2018	54 115 Kč

Mezi hlavní nevýhody kondenzačních kotlů na plyn patří:

- Vysoké náklady na zavedení přípojky veřejného plynovodu
- Závislost na existenci přípojky veřejného plynovodu
- Vyšší pořizovací cena [56]
- 

### **3.1.3 Tepelné čerpadlo**

Vytápění objektů z obnovitelných zdrojů patří k prioritám ekonomicky vyspělých zemí. Právě ekonomické důvody, kdy voda, země, slunce i vítr jsou zdarma, na rozdíl od jiných zdrojů energie. Dalším důvodem je, že nedochází ke znečištění životního prostředí (jako při spalování uhlí). Vzhledem k tomu je využití v podstatě nevyčerpatelných přírodních zdrojů rozumné. Jednou z možností vytápění objektů je využít rozdílné teploty v různých vrstvách země, vody a vzduchu. Toho využívá tepelné čerpadlo. [65, 66]

Tepelné čerpadlo využívá přirozeného tepla okolního prostředí pro naši potřebu, kdy čerpá energii ze vzduchu, země nebo vody a teplo předává teplotněmu médiu pro vytápění nebo ohřev užitkové vody. Energie z těchto tří zdrojů je stále k dispozici. Tepelné čerpadlo má velký význam ve vytápění pro budoucnost, vzhledem k několika nepopíratelným výhodám: [67, 68]

- **Úspory** – Náklady na vytápění u tepelných čerpadel jsou velmi nízké. Při srovnání tepelného čerpadla s vytápěním elektrokotlem se může ušetřit až 2/3 nákladů. Oproti vytápění s plynovým kotlem ušetří tepelné čerpadlo až 50 % nákladů. Na tepelné čerpadlo lze získat speciální sazbu na elektrickou energii, která se zároveň vztahuje i pro všechny elektrické spotřebiče v domácnosti. Jedná se o dvoutarifovou sazbu, kdy po dobu 22 hodin platí nízký tarif a po zbývajících 2 hodinách tarif vysoký. Vzhledem k tomu, že ceny tepelných čerpadel za poslední roky klesly, zkrátila se i doba návratnosti. Většinou domácností se tak investice vrátí v průměru za 5–8 let. U tepelných čerpadel jsou i velmi nízké náklady na údržbu. Tepelná čerpadla jsou v podstatě bezúdržbová

zařízení, kde nejsou nutné pravidelné bezpečnostní revize. Na pořízení tepelného čerpadla navíc můžete získat dotaci.

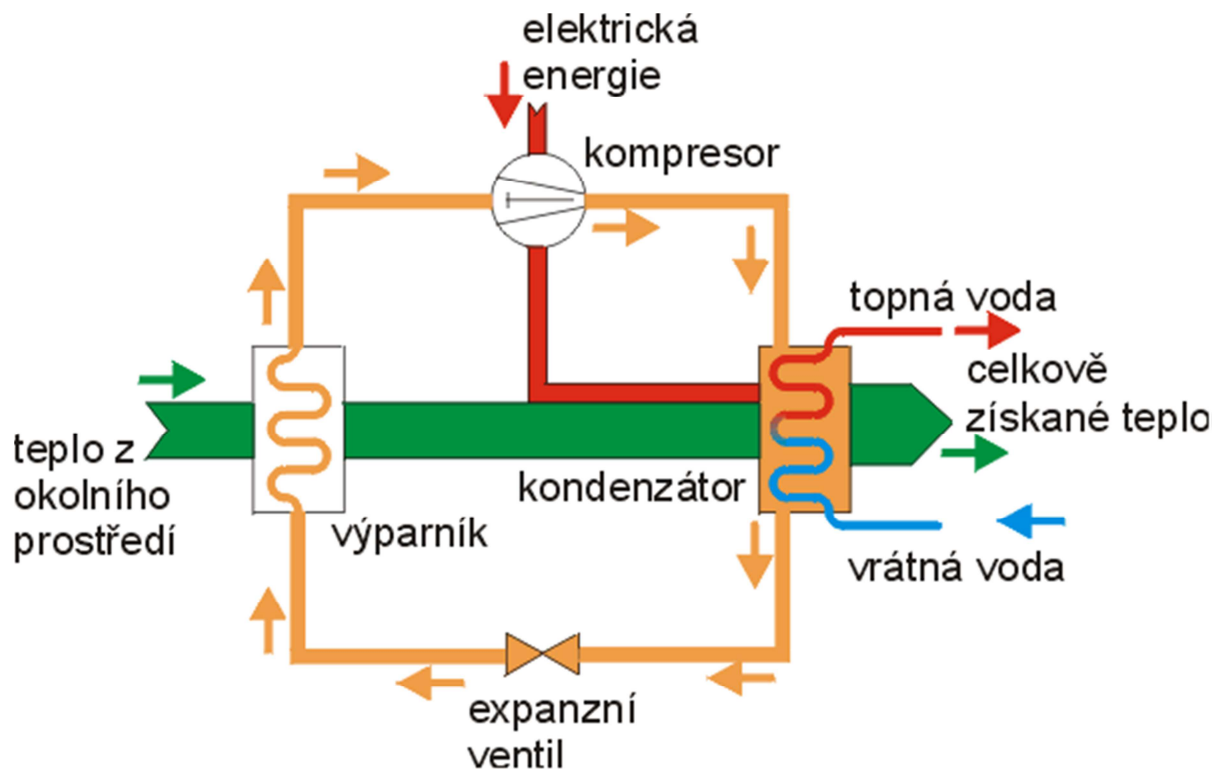
**Kotlíková dotace 2015 – 2018** – vyhláší Ministerstvo životního prostředí, cílem je zlepšování kvality ovzduší. Dotaci lze čerpat na výměnu kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním, který je v emisní třídě 1 a 2. Jednotlivé kraje přijímají žádosti, vyhláší jednotlivé výzvy a termíny jejich zahájení. Na tepelné čerpadlo je možné získat až 127 500 Kč.

**Nová zelená úsporám 2014 – 2020** - Program Ministerstva životního prostředí, administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR, hlavním cílem Programu je zlepšení stavu životního prostředí. Na tepelné čerpadlo bez zateplení rodinného domu lze získat až 80 000 Kč. [66, 68, 69, 70]

- **Nezávislost** – Každé zdražení cen energií ovlivní vytápění pouze minimálně, protože teplo bude téměř zdarma čerpáno z přírody. Neexistuje zde žádná závislost na ceně tuhých paliv a plynu. [68]
- **Komfort bydlení** – Tepelné čerpadlo má bezobslužný provoz, samozřejmostí je regulace dvou nezávislých topných systémů v návaznosti na venkovní teplotu, snížení a zvýšení teploty v objektu, ohřev užitkové a bazénové vody, možnost napojení na domácí PC nebo dálkové připojení přes modem. S tepelným čerpadlem navíc odpadá práce okolo dovozu a uskladnění dřeva nebo uhlí, úklid popela. [68]
- **Multifunkčnost** – Tepelná čerpadla jsou vhodná téměř pro všechny typy staveb. Mohou zajistit topení, ohřev teplé vody i ohřev bazénu. V letních měsících se může tepelné čerpadlo využít k ochlazování místností. Některé typy čerpadel mohou i větrat. [66, 68]
- **Ekologie** – využitím tepelného čerpadla nevznikají žádné nebezpečné spaliny ani jiné produkty, které by mohly uškodit životnímu prostředí. Jeho provozem snižujeme emisní zatížení životního prostředí. [66, 68]

Tepelné čerpadlo získává z okolního prostředí teplo, kde je ho prakticky neomezené množství. Nejčastěji přímo ze vzduchu, ze země nebo vody prostřednictvím kapaliny - nemrzoucí směsi. Ta proudí v trubkách a „natahuje“ teplo z média.

Nemrzoucí směs ohřátá „přírodním teplem“ se odvádí do výparníku tepelného čerpadla, kde se nízkopotenciální teplo předá chladivou kolujícím uvnitř zařízení. Chladivo se tím ve výparníku vypaří a vzniklý plyn je nasán kompresorem. Kompresor ohřáté plynné chladivo prudce stlačí a díky fyzikálnímu principu komprese, kdy při vyšším tlaku stoupá teplota, jako teplotní výtah „vynese“ ono nízkopotenciální teplo na vyšší teplotní hladinu cca 80°C. Kompresorem zahřáté chladivo putuje do kondenzátoru, teplo se zde předá do topné vody pro vytápění celého domu, ohřevu vody v zásobníku nebo bazénu a plynné chladivo změní svoje skupenství na kapalné. Z kondenzátoru putuje kapalné chladivo přes expanzní ventil, kde se prudce ochladí, zpět do výparníku, kde se opět ohřeje. Tento cyklus se stále opakuje, takže tepelné čerpadlo přečerpává teplo z vnějšího prostředí do vytápěného domu. Průběh celého cyklu je znázorněn na obrázku 25.



**Obrázek 25 Schéma tepelného čerpadla [71]**

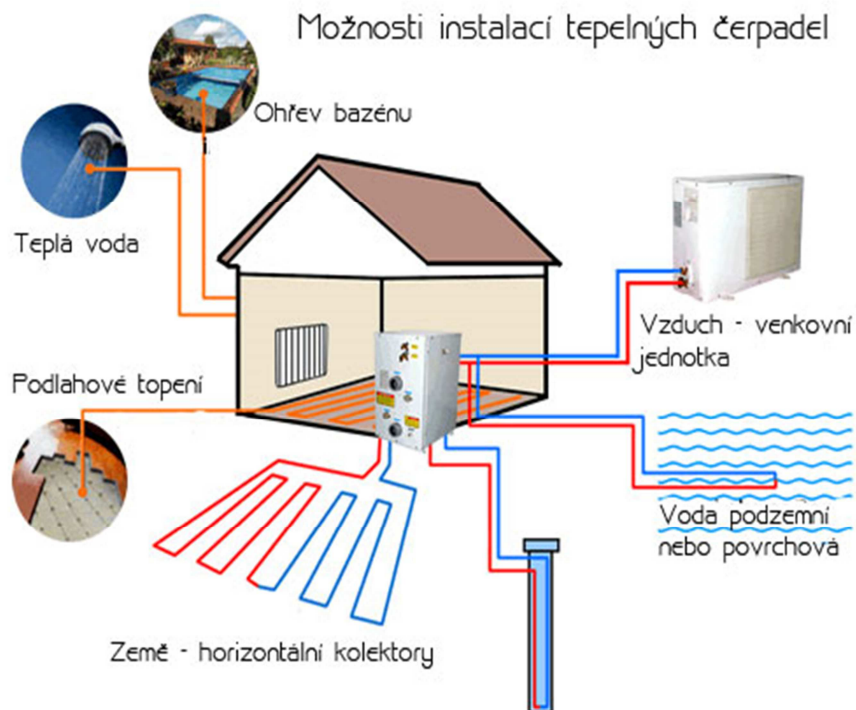
V nabídce na trhu jsou čtyři typy teplotních čerpadel. Jejich typ se udává dvouslovným názvem, tím je zdroj energie a teplosměnné médium.

Zdroj energie je prostředí, z kterého je teplo odebíráno. Jedná se o vzduch, zemi nebo vodu.

Teplosměnné médium je látka, která teplo v tepelném čerpadle dostává, odevzdává ho v otopném systému, jedná se o vzduch nebo ve většině případů o vodu

#### **Jedná se o tyto typy tepelných čerpadel:**

- **vzduch - voda** - teplo je odebíráno ze vzduchu a je předáváno vodě v otopném systému.
- **voda - voda** - teplo je odebíráno z podzemní (vzácněji povrchové) vody a je předáváno vodě v otopném systému.
- **země - voda** - teplo je odebíráno ze země (vrty nebo kolektory) a je předáváno vodě v otopném systému.
- **vzduch - vzduch** - teplo je odebíráno ze vzduchu a je rozváděno teplovzdušným otopným systémem.



**Obrázek 26** Možnosti instalace tepelných čerpadel [66]

Efektivitu tepelného čerpadla určuje topný faktor, což je poměr energie, spotřebované pro pohon kompresoru, a energie, získané pro vytápění. Čím je vyšší topný faktor, tím je tepelné čerpadlo efektivnější.

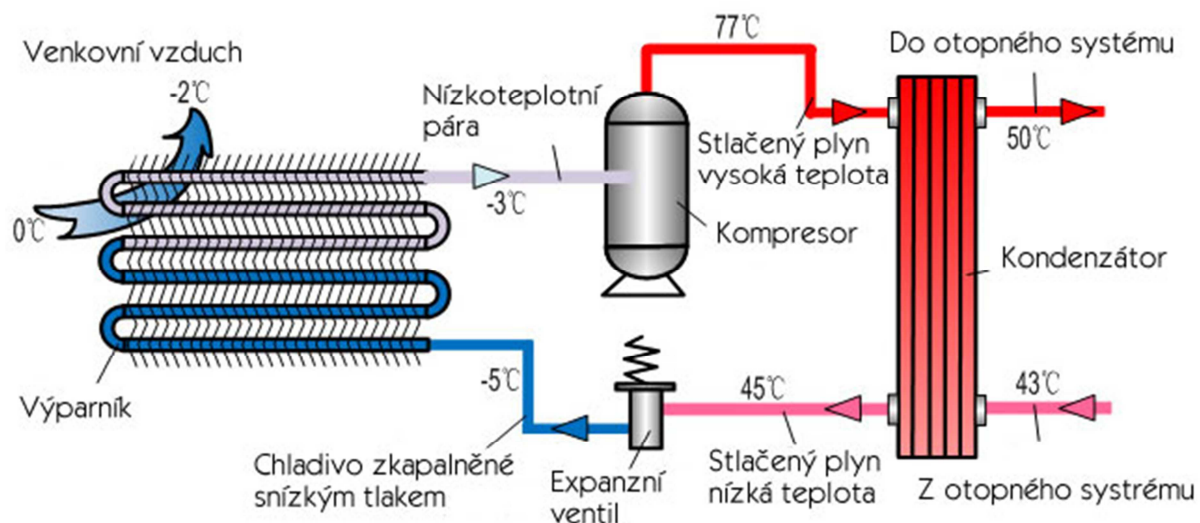
Nejvyšší topný faktor se dosahuje u systémů vytápění, v nichž je na straně topidla tepelné čerpadlo voda-voda (s vrty) a na straně otopných těles podlahové vytápění.

Nejnižší topný faktor je typický pro tepelné čerpadlo vzduch-voda na straně topidla a radiátorů na straně otopných těles při nejnižších venkovních teplotách. [66]

### **Tepelné čerpadlo vzduch – voda**

Princip tepelného čerpadla vzduch-voda spočívá v odběru tepelné energie z venkovního vzduchu a následném dodávání tohoto tepla do systému teplovodního vytápění objektu. Jsou vhodným řešením tam, nemáme k dispozici vhodný pozemek pro vybudování zemních kolektorů, vrtů nebo studní. Tepelná čerpadla vzduch-voda existují v provedení pro venkovní nebo vnitřní instalaci. Princip činnosti tepelného čerpadla vzduch - voda je nejlépe zřejmý ze zobrazeného schématu na obrázku 27.

## Princip tepelného čerpadla vzduch - voda



Obrázek 27 Schéma tepelného čerpadlo vzduch voda [66]

### Výhody tepelného čerpadla vzduch - voda

Nepotřebuje zemní kolektory, vrty a studny - značná úspora pořizovacích nákladů.

V letním období může být využito tepelné čerpadlo k vyhřívání bazénu.

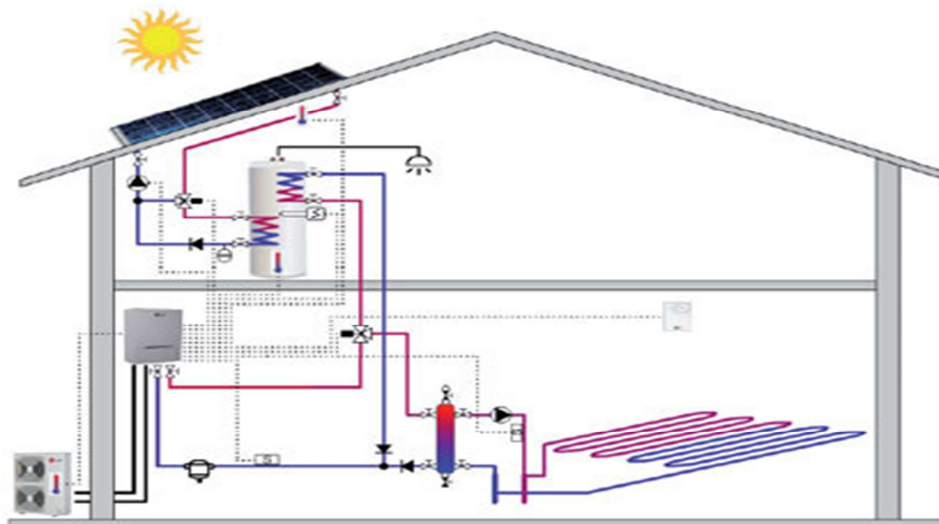
Jeho instalace je velmi rychlá a nezasahuje zásadním způsobem do konstrukce domu a okolního terénu.

### Nevýhody tepelného čerpadla vzduch - voda

Nižší topný faktor a účinnost než u ostatních typů tepelných čerpadel.

Ve velmi chladných dnech je potřeba kombinovat vytápění s dalším klasickým topidlem.

**Účinnost tepelného čerpadla** lze zvýšit používáním nízkoteplotního otopného systému. Nejvyšší účinnosti dosáhneme volbou podlahového vytápění. Tepelný zisk je možné také zvýšit propojením systému tepelného čerpadla s dalším ekologickým topidlem, kterým jsou například solární tepelné kolektory. [66, 68]

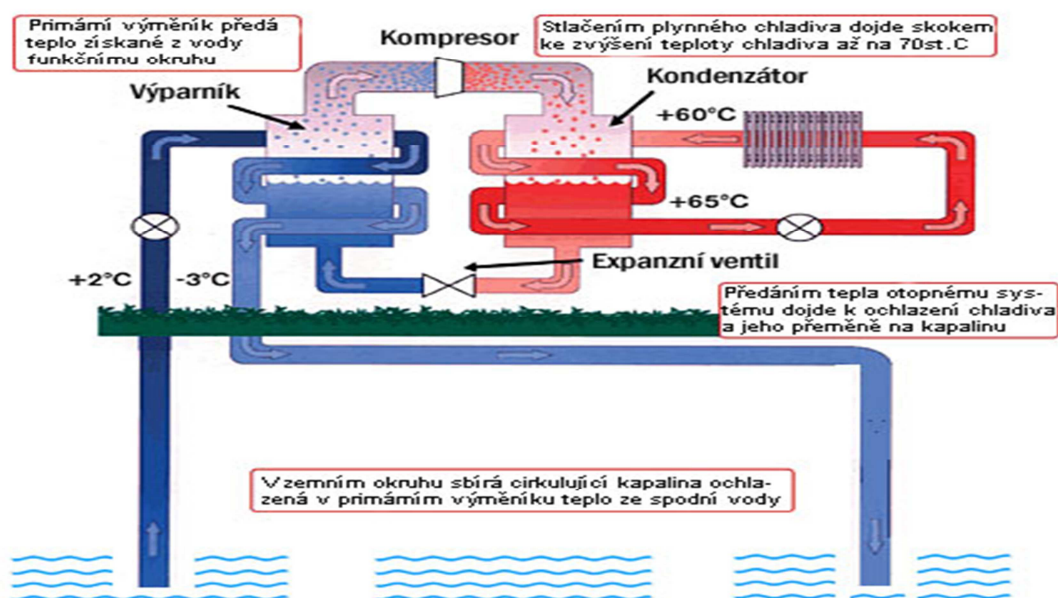


Obrázek 28 Zapojení tepelného čerpadla a solárních tepelných kolektorů [66]

### Tepelné čerpadlo voda – voda

Princip tepelného čerpadla voda – voda spočívá v tom, že teplo je odebíráno z podzemní vody. Podmínkou je realizace dvou studní, kdy se z jedné studny voda přečerpává, je poháněna vodním čerpadlem do primárního výměníku, prochází primárním výměníkem, kde předá teplo chladivu tepelného čerpadla. Ochlazená voda se pak vypouští do druhé studny. Princip tepelného čerpadla voda – voda je znázorněna na obrázku 29.

### Princip tepelného čerpadla voda - voda



Obrázek 29 Schéma tepelného čerpadla voda-voda [66]

### System dvou studní může fungovat při splnění určitých podmínek:

- Zdrojová studna musí mít bohatý zdroj podzemní vody, aby nedošlo k jejímu vyčerpání.
- Vzdálenost obou studní musí být nejméně 10m.
- Kvalita vody musí splňovat určitá kritéria, například bahnitá voda by zanášela trubky.

Zvláště z důvodu vysokých nároků na vydatnost a kvalitu vodního zdroje je tento typ tepelných čerpadel nejméně rozšířený, i když jeho účinnost je nejvyšší.

### Výhody tepelného čerpadla voda – voda

- Nejvyšší stabilní topný faktor ze všech druhů tepelných čerpadel.
- Nejvyšší úspory za vytápění při jeho použití s nízkoteplotním otopným systémem.
- I ve velmi chladných dnech se obejdou bez přitápění jiným topidlem.
- Nejnižší spotřeba elektrické energie ze všech tepelných čerpadel.
- Nejnižší hlučnost ze všech typů tepelných čerpadel.

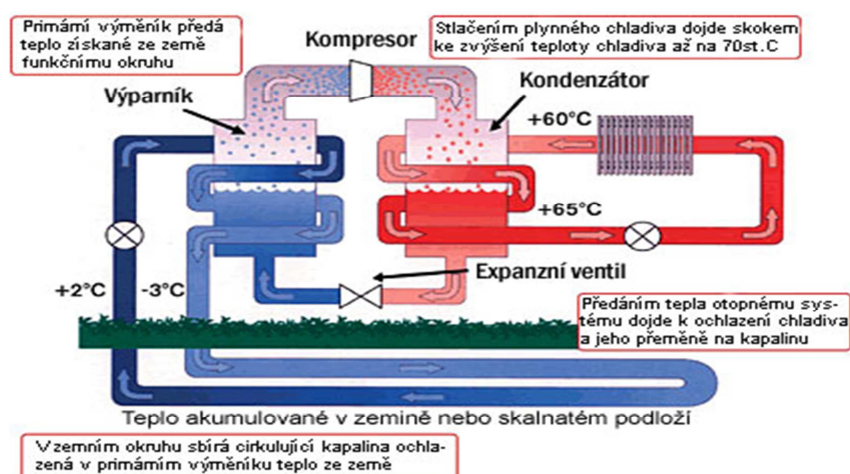
### Nevýhody tepelného čerpadla voda – voda

- Vysoké náklady na vybudování kolektorů – dvě studny.
- Potřeba zemních prací spojených s vybudováním dvou studní.
- Potřeba stavebního povolení v případě vrtání studní. [66, 68]

### Tepelné čerpadlo země – voda

Energie se u tepelného čerpadla země – voda čerpá prostřednictvím zemních kolektorů nebo hlubinných vrtů. Princip činnosti čerpadla můžeme vidět na obrázku 30.

### Princip tepelného čerpadla země - voda

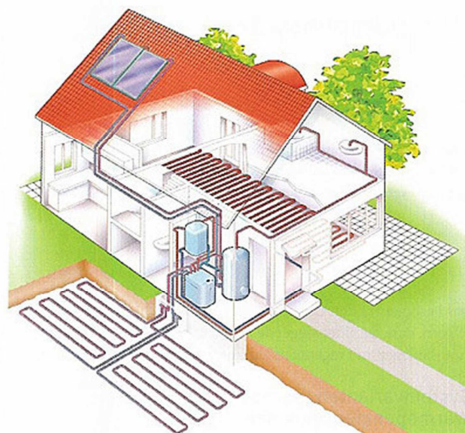


Obrázek 30 Schéma tepelného čerpadla země voda [66]

Sběrač tepla je u čerpadel země - voda uložen v zemním kolektoru anebo půdním vrtu. Obě technologie mají svoje přednosti i nevýhody. Lze volit z těchto možností:



**Tepelné čerpadlo s půdním kolektorem** – jedná se o systém trubek, dlouhých zpravidla několik stovek metrů, uložených vodorovně pod terénem v hloubce půdy 1,2 - 1,5m s minimální roztečí 1m.

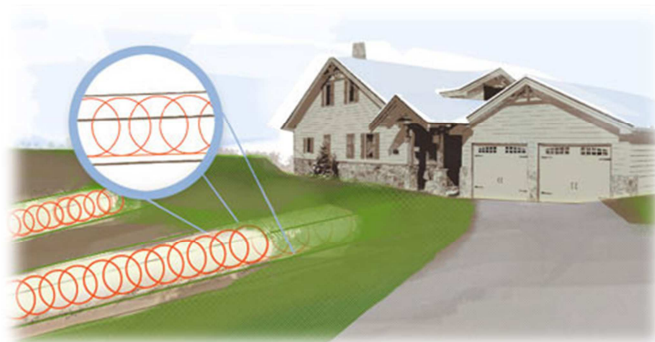


**Obrázek 31 Vizualizace půdního kolektoru [66]**

**Výhoda** půdního kolektoru - nižší náklady na zemní práce.

**Nevýhoda** půdního kolektoru - nižší účinnost než u tepelných čerpadel s vrtem a nutnost zemních prací na velké ploše pozemku.

Tepelné čerpadlo s půdním kolektorem ve tvaru slinek (smyček) - slinka je speciální typ půdního kolektoru, charakteristický ukládáním trubek v zemi způsobem vodorovných smyček. Půdní výkop slinky je o velikosti 20m x 1m a plastové potrubí se do něj ukládá tak, že tvoří řadu smyček, čímž dokáže ze stejné délky výkopu přijmout více půdního tepla.



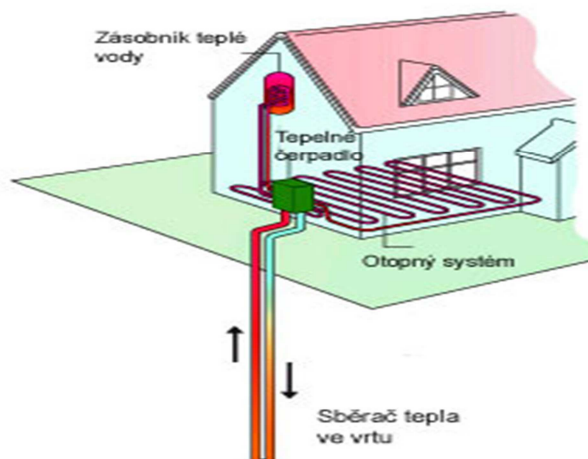
**Obrázek 32 Půdní kolektor slinka [66]**

**Výhoda** je úspora plochy pozemku, která je potřebná pro uložení kolektoru.

**Nevýhoda** jsou vyšší náklady na plastové potrubí.

Účinnost tepelného čerpadla je zhruba stejná jako u tepelného čerpadla s normálním uložením kolektoru.

Tepelné čerpadlo se zemním vrtem - uložení sběrače tepla do svislých zemních vrtů zaručuje velmi vysokou účinnost tepelného čerpadla, z důvodu, že teplota s rostoucí hloubkou země stoupá a není závislá na počasí.



Obrázek 33 Schéma uložení s hlubinným vrtem [66]

**Výhoda** - minimální zábor plochy pozemku (na jeden vrt postačí plocha zhruba 1 m<sup>2</sup>).

**Nevýhoda** - vysoké náklady na sběrač tepla ze všech druhů tepelných čerpadel z důvodu ceny vrtů.

Podle výkonu tepelného čerpadla je potřeba jeden nebo více vrtů. Je nutné, aby byly nejméně 5m vzdálené od sebe navzájem a nejméně 10m od vytápěného objektu.

#### **Výhody tepelného čerpadla země – voda**

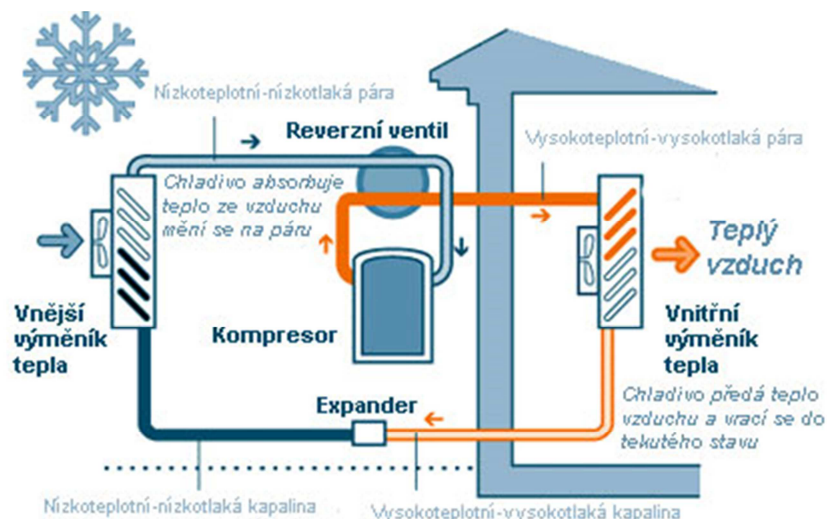
- Vysoký topný faktor a tedy i vysoká účinnost.
- Vysoká teplota vody v otopném systému - vhodná i pro otopná tělesa (např. radiátory).
- I při velmi chladném počasí není potřeba přitápět jiným topidlem.
- Nízká spotřeba elektrické energie.
- Nízká hlučnost.

#### **Nevýhody tepelného čerpadla země – voda**

- Vysoké náklady na vybudování sběračů tepla - zemních kolektorů či vrtů.
- Velká plocha volného pozemku v případě zemního kolektoru.
- Potřeba zemních prací spojených s vybudováním zemního kolektoru nebo vrtů.
- Potřeba stavebního povolení v případě provádění vrtů. [66, 68]

#### **Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch**

Tepelné čerpadlo vzduch / vzduch odebírá tepelnou energii z okolního vzduchu a předává teplo do systému teplovzdušného vytápění objektu. Princip činnosti zobrazuje schéma na obrázku 34.



Obrázek 34 Princip tepelného čerpadla vzduch – vzduch [66]

### Výhody tepelného čerpadla vzduch - vzduch

V teplém počasí funguje jako klimatizace s nízkými náklady.

Ve spojení se vzduchovými rozvody a filtry slouží také jako úsporná ventilace s filtrací vzduchu - zdravé prostředí vhodné i pro alergiky.

Instalace tohoto typu tepelného čerpadla je rychlá a nezasahuje nijak zvláště do konstrukce domu a okolního terénu.

### Nevýhody tepelného čerpadla vzduch - vzduch

Teplovzdušným systémem vytápění nelze ohřívat vodu, pro ohřev je nutný jiný topný agregát pracující na odlišném principu.

Potřeba instalace teplovzdušných rozvodů (zpravidla pod stropem).

### Náklady na provoz tepelného čerpadla

V daném objektu souvisí se zvolením správného typu čerpadla. Vzhledem k podmínkám stavby, kdy je na pozemku studna a dostatečně velká plocha pro kolektor je možné zprovoznit všechny tři typy tepelných čerpadel. Vzhledem k relativně vysokým tepelným ztrátám je vhodné volit co nejefektivnější čerpadlo s vysokým topným faktorem. Různé zdroje uvádí různé topné faktory pohybující se od 2,5 do 7,3. [72,73] Systémy země-voda a voda-voda dosahují nejvyšších topných faktorů, orientační výpočet bude proveden s topným faktorem 5,5 který je reálný u obou systémů. Náklady na energii pro ohřev teplé vody a vytápění s tarifem pro tepelná čerpadla D 56d kde kWh stojí 2,14 Kč, bude vypočteno následovně:

$$\frac{\text{energie pro ohřev vody a vytápění}}{\text{topný faktor}} \times \text{cena elektřiny} = \frac{47\,275}{5,5} \times 2,14 \cong 18\,394 \text{ Kč}$$

Z toho je 1070 Kč pro ohřev vody a 17 324 Kč pro vytápění.

### 3.1.4 Srovnání nákladů na vytápění rodinného domu

**Tabulka 5 Porovnání provozních nákladů**

Zdroj tepla	Náklady na ohřev vody a vytápění pro tepelný výkon 47 275 kWh
Současný stav	36 575
<b>Elektrokotel</b>	<b>110 623</b>
Plynový kotel	41 586
<b>Tepelné čerpadlo</b>	<b>18 394</b>

Z tabulky 5 je patrné, že tepelné čerpadlo vychází nejvýhodněji. Ceny tepelných čerpadel včetně instalace systému voda/voda i země/voda dosahují 250 000 – 350 000 Kč [74], vzhledem k vyššímu zvolenému topnému faktoru je volena i nejvyšší cena za instalaci 350 000 Kč. V současné době je možné získat kotlíkovou dotaci v hodnotě 127 500 Kč. Návratnost investice do tepelného čerpadla je tedy:

$$\frac{\text{Cena instalace} - \text{kotlíková dotace}}{\text{cena současný stavu} - \text{provoz tepelného čerpadla}} = \frac{350\,000 - 127\,500}{36\,575 - 18\,394} = 12,2 \text{ roku}$$

### 3.2 Šetrné využívání energie

Vzhledem ke konceptu Industry 4.0 je trendem přecházet na decentralizovaný systém dodávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Zejména se jedná o fotovoltaické panely nebo větrné turbíny. Díky tomu je nabídka elektrické energie variabilní. Například v Německu jsou nabízeny tarify elektrické energie, které se v průběhu dne mění. Domácí spotřebiče mohou být vybaveny funkcí, která umožní uživateli nadefinovat nejpozdější splnění úlohy a systém vyhodnotí, kdy je nevhodnější začít. V praxi to může například vypadat následovně: uživatel vloží špinavé prádlo do chytré pračky, která zároveň funguje jako sušička v odpoledních hodinách a nastaví dokončení programu na čas, kdy vstává. Předpověď počasí hlásí, že bude v noci foukat vítr, systém tedy vyhodnotí, že bude nejvýhodnější spustit program až v noci. Tato funkce se nazývá SmartStart. Dále je možné že si uživatelé koupí úložiště elektrické energie, to se v levném tarifu kdy je dostatek energie nabije a při drahém tarifu bude úložiště dodávat energii domácnosti. [75]

Žádný spotřebič s funkcí SmartStart v objektu není, přínos pro uživatele je ekonomický.

Na běžném trhu se spotřebiče s funkcí SmartStart nevyskytují, jedná se tedy o budoucí směr vývoje, kam mohou chytré spotřebiče směřovat.

### 3.3 Bezpečnost

Díky vzdálenému přístupu má uživatel kdykoliv přehled o bezpečném chodu domácnosti a v případě určitých událostí dostává uživatel notifikaci do svého telefonu či tabletu.

**Mezi hlavní bezpečnostní prvky lze zahrnout:**

- Pohybové senzory: v případě že uživatel není doma a senzory zachytí neočekávaný pohyb, informují uživatele a dále mohou provést některé předdefinované úkoly. Například spustit alarm, blikání světel nebo zavolají bezpečnostní agenturu.
- Požární a teplotní čidla, na rozdíl od běžných čidel mohou informovat více kontaktů například uživatele domu, souseda nebo složky hasičského záchranného systému.
- Kamerový systém, ke kterému má uživatel přístup 24 hodin denně.

- Záplavové senzory tyto senzory jsou umístěny na místech, kde může hrozit vytopení domu či bytu například pračka či myčka.
- Chytrý zámek na rozdíl od klasického zámku, lze otevřít na dálku pomocí chytrého telefonu či tabletu, zároveň ho lze otevřít otiskem prstu nebo zadáním kódu.

Výše uvedené prvky nemusí sloužit pouze jako prvky pro ochranu majetku, ale lze díky nim i zvýšit komfort uživatele. Příkladem může být příchod pošťáka, který zazvoní, uživatel dostane notifikaci a přes kameru vidí, že před domem stojí pošťák se zásilkou, pomocí reproduktoru mu na dálku sdělí, ať položí balíček dovnitř a zároveň vzdáleným přístupem odemkne dveře. [75, 76, 77]

V současném objektu je pouze jeden typ bezpečnostního prvku a tím je běžný zámek ve dveřích. Při instalaci bezpečnostních prvků získají uživatelé veškeré výhody, které jsou popsány u jednotlivých bodů kapitoly 3.3.



**Obrázek 35** Příklad chytrého zámku [78]

Chytré zámky v současné době již na trhu existují a jejich cena se pohybuje od 10 000 – 20 000 Kč. Nicméně tyto zámky jsou samostatné jednotky, celkový bezpečnostní systém, který je zde popsán, je většinou instalován v rámci instalace celého systému smart home.

### **3.4 Centrální funkce**

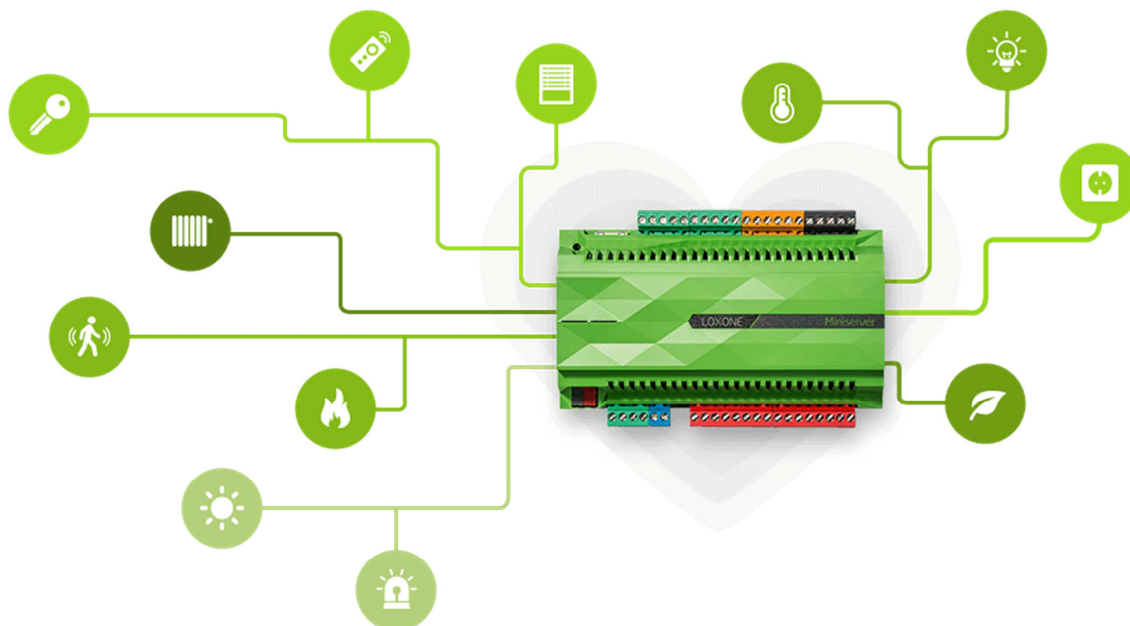
Centrální funkce je taková funkce, která se v chytrém domě provádí samostatně například vytápění, ventilace, klimatizace, stínění, ohřev vody, zavlažování, zabezpečovací technika, kamery, osvětlení, provoz spotřebičů, komunikace, distribuce TV a video signálu, rádia a hudby, telefonů a internetu. [79] Srdcem moderního bydlení je centrální systém, který má jednoduché a intuitivní ovládání a na tento systém jsou centrální funkce napojeny. Díky napojení funkcí do jednoho systému je lze snadno ovládat a programovat různé módy. Jedním z často používaných módů je například mód odchod z domu, kde se uživateli po zvolení daného módu vypnou zbytečné spotřebiče, muzika, televize, světla, zatáhnou žaluzie, přestanou vytápět místnosti, aktivuje alarm... Další velice častým módem bývá noční režim, který podobně jako předchozí režim vypne spoustu spotřebičů, ale navíc třeba aktivuje noční světla, když potom uživatel v noci potřebuje někam jít, pohybový senzor to zaznamená a

rozsvítí pouze tlumená noční světla. Poslední neméně důležitou věcí je možnost centrální funkce automatizovat například vytahování a zatahování žaluzií na určitý čas nebo dle světelných a teplotních podmínek. [77, 80]

V současném objektu žádný z těchto prvků není, přínosem je uživatelský komfort a šetření nákladů.

Centrální funkce i systém jsou nahrány na server, který řídí jednotlivé funkce. Tato myšlenka je velice výhodná, protože produkty tak nepotřebují vlastní výpočetní výkon.

Cena samotného serveru se pohybuje okolo 14 000 Kč.



Obrázek 36 Miniserver Loxone [81]

### 3.5 Větrání

Z energetického hlediska je neefektivnější zajistit větrání pomocí rekuperace. Výměna tepelné energie dosahuje přes 90%. Rekuperační jednotka je navíc připojena k elektrické energii a lze ji teda připojit do systému chytrého domu a inteligentně řídit. Princip rekuperačního větrání je založen na výměně tepla mezi odváděným teplým vzduchem, který předá teplo přiváděnému studenému vzduchu v zimním období. V letním období je tomu naopak. [80, 82]

V současném objektu je větrání zajišťováno manuálním otevíráním oken uživateli, nebo uzavíratelnými větracími mřížkami. Přínosem rekuperačního větrání je nižší energetická náročnost a ušetření činností uživatelů.

Rekuperační větrání lze rozdělit na dva hlavní přístupy.

- 1) Každá místnost má vlastní rekuperační jednotku. Tento systém se snadněji instaluje a je vhodnější do již hotových staveb. Nevýhoda je nižší účinnost, která se pohybuje okolo 80%. Cena jedné jednotky se pohybuje od 4 000 – 12 000 Kč, v objektu je 8 místností. Celková cena se tedy bude pohybovat okolo 50 000 Kč. [82]

- 2) Do každé místnosti je zabudována vzduchotechnika, ta je poté vedena do centrální jednotky kde se ve výměníku předává teplo. Nevýhodou je složitější instalace, výhodou je vyšší účinnost okolo 90%. Pro podobně velký objekt stojí takové řešení okolo 80 000 Kč. [82]

Tepelné ztráty způsobené větráním nelze pro konkrétní objekt určit. Nicméně rozdíl v účinnosti mezi systémy je 10%. Náklady na vytápění a ohřev vody pomocí tepelného čerpadla byly vypočteny na 17 324 Kč. Rozdíl v instalaci je 30 000 Kč. I za předpokladu že veškeré tepelné ztráty byly způsobeny větráním, by byl návrat investice:

$$\frac{\text{Rozdíl v instalaci}}{\text{rozdíl v účinnosti} \times \text{tepelná ztráta}} = \frac{30\,000}{0,1 \times 17\,324} = 17,3 \text{ roku}$$

Nicméně tak velké ztráty větráním rozhodně nenastanou a návratnost systému 2 je téměř nulová.

### 3.6 Stínění

Stínění je v chytrém domě řešeno žaluziemi, s elektrickým pohonem. Pohon je zapojen do centrálního systému a stínící technika může být inteligentně řízena. Nejdůležitějším senzorem pro stínící techniku je bezesporu meteostanice. Díky datům z meteostanice se žaluzie přizpůsobují okolnímu počasí tak jak mají naprogramováno. Ovšem jejich primární funkcí je udržování nastavené teploty uvnitř objektu odražením či propouštěním slunečního záření a ve večerních hodinách se automaticky zatáhnou tak aby nebylo do objektu vidět. [76, 77, 80]

V současném objektu jsou manuálně ovládané žaluzie, ty vyžadují neustále nastavování a v nepřítomnosti uživatele nemusí plnit díky špatnému nastavení svou funkci. Přínosem je šetření nákladů a zvýšení komfortu.

Na současném trhu automatická stínící technika existuje, je ale dodávána v rámci kompletních systémů smart home.

### 3.7 Ovládání a řízení

Ovládání domu je realizováno pomocí tlačítek a chytrých zařízení. Obě dvě varianty mají své výhody i nevýhody a jejich kombinace je tak velice vhodná. Tlačítka jsou vhodné pro běžné úkony, co uživatel dělá často, například tlačítko pro změnu světelné scény. Chytrý telefon, tablet nebo internetové rozhraní je pak vhodné využít pro sledování statistik, pro vzdálený přístup nebo pro úkony, které nejsou tolik běžné. Jako příklad lze uvést aktivování módu, kdy uživatel jede dlouhodobě pryč. V poslední řadě lze některé prvky ovládat hlasem. [75, 77, 79, 80]

V současném objektu funguje automaticky pouze ohřev vody, dále se pomocí tlačítek ovládá osvětlení. Přínosem chytrého ovládání a řízení je zvýšení komfortu a u některých zařízení (tepelné čerpadlo, stínící technika...) i snížení nákladů.

Ovládání a řízení chytrých prvků je dodáváno k daným prvkům nebo v rámci celé instalace smart home.

### 3.8 Osvětlení

V inteligentním domu jsou napojeny vypínače do centrálního systému, kde je určeno jaký vypínač zapíná jaká světla. Vypínače mohou být i bezdrátové, a tak umístěny třeba na skle nebo zrcadle. Kdykoli se vypínač dá přidat nebo změnit světla, které ovládá. To umožňuje vytváření světelných scén (sledování televize, čtení, večere, návštěva, úklid). V kombinaci se

senzorem intenzity osvětlení je možné systém nastavit na určitou hladinu osvětlení a ta je udržována. V každém okamžiku má uživatel přehled, kde se svítí a kde ne a z libovolného místa může vypnout nebo zapnout libovolné světlo. Do osvětlení v inteligentním domě lze zapojit téměř jakékoliv svítidlo na elektřinu, nejčastěji se využívají úsporné žárovky, LED světla nebo RGB LED pásy, díky tomu si uživatel může nastavit téměř cokoliv. Další funkcí osvětlení v chytrém domě je funkce bezpečnosti, jednak v případě vloupání světla mohou začít blikat a to zloděje může vystrašit nebo v případě požáru upozorní uživatele. [76, 77, 79, 80]

V současném objektu neexistuje žádný centrální systém ani nijak před programované světelné scény. Osvětlení je řešeno běžnými lustry, v kterých jsou namontovány běžné wolframové žárovky. Každý lustr je pak ovládán svým vlastním vypínačem. Přínosem inteligentního svícení je zvýšení komfortu a snížení nákladů.

Chytré osvětlení je dodáváno většinou v rámci celé instalace smart home.

### 3.9 Chytré spotřebiče

Dalším z chytrých prvků v chytrém domě jsou chytré spotřebiče. Chytré spotřebiče dokáží automatizovat určité prvky a šetří tak uživateli práci. V dnešní době chytrých spotřebičů existuje celá řada, ale jsou to pouze samostatné chytré stroje, které vůbec nebo omezeně komunikují s okolím a nejsou napojeny na domácí server.

S využitím prvků Industry 4.0 by mohl vývoj chytrých spotřebičů vést několika směry. Jedním z nich by mohla být závislost napojení na cloudový server kde by probíhalo veškeré řízení daného spotřebiče.

V současném objektu neexistují žádné chytré spotřebiče. Přínosy a výhody spotřebičů jsou uvedeny u popisu každého z nich.

#### Lednice

Chytré ledničky mají oproti běžným ledničkám něco navíc:

- Je možné naskenovat čárové kódy, vytvořit seznam potravin a díky tomu uživatele upozorní na konec data spotřeby, nebo co je potřeba dokoupit.
- Další z funkcí jsou recepty. Díky tomu že systém ví, které potraviny jsou uvnitř, dokáže lednička navrhnout možné recepty, co lze z daných surovin uvařit.
- Systém umí vzít v potaz, že nějakou potravinu uživatel nekonzumuje, nebo že drží dietu.
- Lednička má také digitální foto rámeček, digitální kalendář a mnoho dalších funkcí kompatibilní s daným operačním systémem.
- Lednici je možné ovládat pomocí chytrých zařízení i vzdáleně. Uživatel má také možnost kontroly a nastavování různých funkcí. [83]

V současné době nejsou na českém trhu chytré lednice běžně dostupné, některé firmy jsou schopny tyto lednice dodat na objednávku, ale jedná se spíše o výjimku. Cena těchto lednic se pohybuje okolo 120 000 Kč.



## **Chytrý vysavač**

Jedná se o automatický vysavač, který je schopen zcela samostatně vysávat celý dům. Lze jej ovládat pomocí mobilního telefonu či tabletu bez ohledu na místo kde se uživatel nachází nebo jej naprogramovat na přesný čas a cyklus. Vysavače disponují sofistikovanou navigací, díky které „vidí“ svou cestu a rozpozná nábytek překážku nebo vstup do další místnosti. Vysavač neskončí, dokud není jeho práce hotová, v případě že dochází energie, automaticky se vrátí do dokovací stanice, kde bude dobit a poté bude pokračovat přesně tam, kde skončil. Robot dále rozpozná, na jakém se nachází povrchu a podle toho upraví svůj úklidový program. [84] V budoucnu by chytrý vysavač mohl být vybaven funkcí SmartStart a vysávat tak ještě efektivněji. Chytré vysavače se na současném trhu prodávají za cenu okolo 18 000 Kč.

## **Pračka**

Chytrá si zcela samostatně zvolí prací program na základě prádla, které do ní uživatel vloží. Program je možné změnit nebo na dálku pomocí chytrého zařízení nebo počítače, dále je možné vzdáleně kontrolovat, v jaké fázi praní se program nachází. V budoucnu by mohla být vybavena funkcí StartSmart. Chytré pračky se na současném trhu prodávají za cenu okolo 30 000 Kč. [83, 75]

## **Trouba**

Chytrá trouba funguje na bázi senzorů a dokáže rozeznat, o jaký typ potravin se jedná a sama si nastavit optimální dobu a stupně pečení. Trouba si vše nastaví a uživatel se už o nic nestará. Když je jídlo hotové, tak automaticky odešle upozornění na mobilní telefon. Některé trouby mají i funkci samočištění, využívají techniku takzvaného pyrolytického čištění, kdy se trouba zahřeje na 500°C a všechny nečistoty se v podstatě spálí. Chytré trouby se na současném trhu prodávají za cenu okolo 13 000 Kč. [83]

## **3.10 Chytrá garážová vrata**

V dnešní době existují na trhu systémy pro dálkové ovládání garážových vrat, které dokáží i další prvky. Jedná se třeba o zabudovaný kamerový systém přímo ve vratech, který monitoruje garáž, nebo automatické rozpoznání, že je uživatel zapomněl zavřít, v tom případě pošlou notifikaci. S využitím prvků Industry 4.0 by vrata v budoucnu mohli sledovat uživatele a samy zjistit že se uživatel blíží a otevřít mu bez nutnosti vydat příkaz, což může být směr dalšího vývoje. [85]

### **Výhody chytrých garážových vrat:**

- rychlost
- bezpečnost
- vysoký komfort
- neomezený dosah

## 4 Chytrá zahrada

Její přednosti spočívají v tom, že se dá její stav zkontrolovat z libovolného místa na světě. Inteligentní zahradní systémy komunikují s předpovědí počasí a na základě toho zavlažují veškeré rostliny. Dále je možné automatické sekání trávy pomocí robotické sekačky, které je také ovládána zcela automaticky nebo pomocí mobilního telefonu či tabletu z kteréhokoliv místa na světě. [86, 87]

V současném objektu není žádný prvek, který by odpovídal konceptu chytré zahrady. Přínosem těchto prvků by bylo ušetření práce uživatelům.

### 4.1 Automatické zavlažování

Chytré řídicí jednotky obsahují senzor napojený na lokální meteorologickou stanici, která měří teplotu, intenzitu světla a půdní vlhkost. Všechny naměřené údaje pak uživatel vidí ve svém telefonu a můžete měnit nastavení závlivky podle aktuální potřeby nebo řízení přenechá automatické řídicí jednotce, která zavlažování přizpůsobí dané situaci. Pokud teplota klesne na přednastavenou nízkou teplotu, zařízení odešle mrazový alarm. [86]

V současném objektu je zavlažování řešeno manuálním zaléváním pomocí konve. Přínos je tedy nejen v ušetření fyzické práce a času, ale také v možnosti zalévání v případě dlouhodobé nepřítomnosti.

Automatické zavlažování může být dodáno v rámci instalace SmartHome, což splňuje požadavek na interoperabilitu.

### 4.2 Automatické sekání trávy

Robotická sekačka udržuje stébla trávy na přesně nastavené výšce. Díky technologii systému nevytváří robotická sekačka na trávníku pruhy, ale zanechává dokonale udržovaný travní koberec. Její provoz je tichý a automatický, pokud se stane, že v průběhu sekání dochází energie, systém zajistí automatický návratem do nabíjecí stanice. Čas sekání je volně programovatelný. Díky integrovanému senzoru, který registruje růst trávy, si sekačka určí, jak často bude sekát, nebo intenzitu sekání určí sám uživatel. [87] V budoucnu by mohla být sekačka vybavena funkcí SmartStart a její provoz by tak byl ještě efektivnější.

V současném objektu je sekání trávy řešeno elektrickou sekačkou na trávu, přínos je tedy v ušetření uživatelova času a práce.

Robotické sekačky pro plochy do 200m<sup>2</sup> se na trhu pohybují okolo 20 000 Kč. Jejich nevýhodou je, že nekomunikují s domácím serverem.



Obrázek 37 Robotická sekačka [87]

## 5 Energetická soběstačnost objektu

Tento konkrétní objekt bude navrhován tak, aby byl energeticky soběstačný. Vítr a slunce jsou střídavé zdroje energie, které se navzájem dobře doplňují a jsou nutné především všude tam, kde je požadován trvalý provoz různých zařízení. Slunce často svítí během období s nízkými rychlostmi větru a naopak. Využití hybridního spojení redukuje také nákladné pořízení akumulátorů. Spojením větrné elektrárny a solárních kolektorů vznikne systém zvyšující účinnost celé soustavy a navzájem se doplňuje. [77]

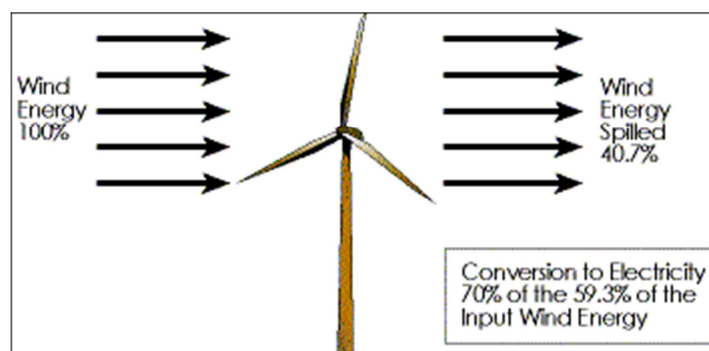
Energetická soběstačnost je v dnešní době důležitá, především proto, že dochází stále ke zvyšování cen paliv a energií, ale také na závislosti dodávek paliv ze zahraničí. Z tohoto důvodu je vhodný alespoň částečný přechod k energetické soběstačnosti. Touto soběstačností bude zajištěna stabilní cena energie a nízká stopa CO<sub>2</sub>. K výrazným přínosům energetické soběstačnosti patří:

- Environmentální přínosy.
- Ekonomické přínosy (nezávislost na cenách energie a úspora peněz za energii)

Současný objekt není soběstačný, elektrickou energii a vodu odebírá z inženýrské sítě a černé uhlí dováží.

### 5.1 Větrná elektrárna

Větrná elektrárna je lopatkové zařízení, které přeměňuje kinetickou energii proudu vzduchu na energii mechanickou a dále v generátoru na energii elektrickou. Jedná se o malá zařízení o výkonu 100 W, až po největší, která dosahují výkonu 8 MW. Pro aplikaci na chytrý dům v městské zástavbě připadají v úvahu pouze malé větrné elektrárny o maximálním průměru rotoru do 2 m. [88, 89]



Obrázek 38 Schéma větrné elektrárny [90]

Pro účely malých výkonů slouží malé a mikroelektrárny malých rozměrů, jednoduché konstrukce a výkony do několika desítek kW. Mikroelektrárny jsou vhodné jako doplněk solárních panelů. Malé elektrárny již mohou zásobovat elektrickou energií i rodinné domky.

#### Výhody větrné elektrárny:

- napájení ve špatně dostupných místech – hory
- relativně velký výkon na rozměry
- jen málo zatěžuje životní prostředí

### Nevýhody:

- složitá instalace i v případě mikroelektráren
- použití jen v místech s optimálními větrnými podmínkami
- vyšší investice [90]

### Návrh a návratnost větrné elektrárny

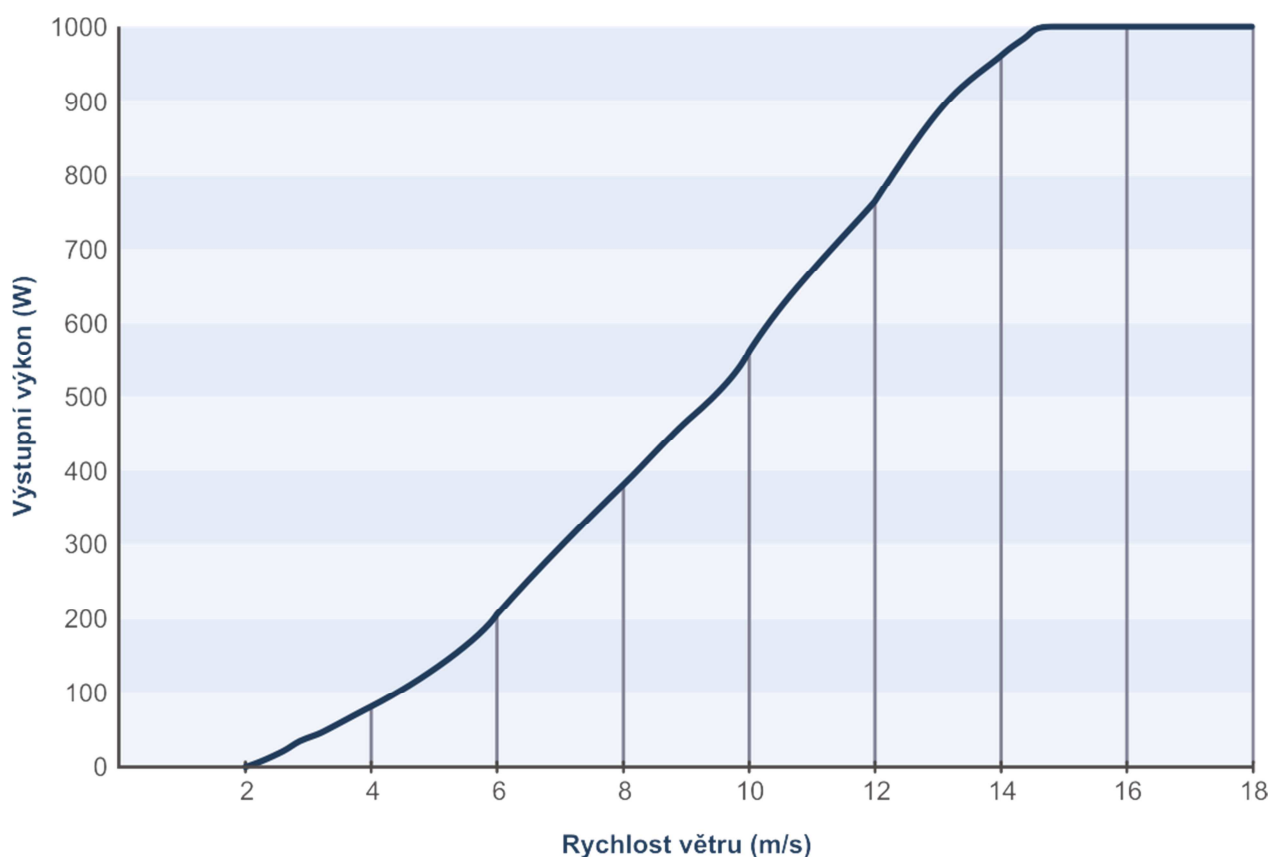
Z trhu byla vybrána optimální turbína SCHOPPER raptor 1500

Pro výpočet návratnosti větrné turbíny je nutné vypočítat počet vyrobených kWh za rok. Pro tento výpočet je nutné znát průměrnou rychlost větru v lokalitě umístění turbíny, výkonovou křivku dané turbíny, četnost výskytu rychlosti větru v dané lokalitě a cenu turbíny. [102]

### Průměrná rychlost větru v lokalitě

Turbína bude umístěna 10 m nad povrchem a bude se nacházet v otevřeném prostoru, kde nedochází ke snížení rychlosti větru lesním porostem, či jinými překážkami. Těmto podmínkám odpovídá průměrná rychlost větru  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [101]

### Výkonová křivka a cena turbíny



Obrázek 39 Výkonová křivka SCHOPPER raptor 1500 [100]

Cena turbíny je 44359 Kč [100]

Četnost výskytu rychlosti větru v dané lokalitě byla určena z tabulky. [104]

**Tabulka 6 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie**

1	2	3	4
Rychlost větru (m.s <sup>-1</sup> )	Výkon větrné elektrárny(W)	Četnost výskytu rychlosti větru pro v=4 m.s <sup>-1</sup>	(2).(3)
0	0	4,2	0
1	0	13,7	0
2	10	17,6	176
3	50	16,5	825
4	90	13,9	1251
5	130	10,6	1378
6	200	7,5	1500
7	280	5,36	1500,8
8	370	3,76	1391,2
9	470	2,62	1231,4
10	560	1,7	952
11	660	1,1	726
12	750	0,57	427,5
13	850	0,4	340
14	940	0,23	216,2
15	1000	0,19	190
16	1000	0,11	110
17	1000	-	-
18	1000	-	-
Σ(2).(3)			12215,1

Vynásobením výkonu větrné elektrárny (sloupec 2) a četnosti výskytu rychlosti větru (sloupec 3) pro jednotlivé rychlosti větru získáme sloupec 4. Energie vyrobená za rok v kilowatthodinách je dle vztahu:

$$Energie\ vyrobená\ za\ rok_{(v=4)} = \frac{[\sum_2^{16}(2).(3)]t}{100} (Wh;W;h)$$

**Kde:**

t je čas

$\sum_2^{16}(2).(3)$  je výsledný součet hodnot ve čtvrtém sloupci.

**Následně dosazeno:**

$$Energie\ vyrobená\ za\ rok_{(v=4)} = \frac{12215,1 W \cdot 8760 h}{100} = 1070,04 kWh [103]$$

Výkupní cena za kWh pro rok 2018 je 1,93 Kč (výkupní cena) +1,34 Kč (zelený bonus) = 3,27 Kč [105]

Zelený bonus je cena, kterou uživatelé objektu (provozovatelé elektrárny) dostanou za každou vyrobenou kWh. Za výkupní cenu mohou energii prodat nebo ji sami spotřebovat. Pro výpočet návratnosti bude bráno v potaz, že se veškerá energie spotřebuje a tím se nemusí kupovat dle tarifu D 56d za 2,14 Kč.

$$\text{návratnost} = \frac{\text{cena turbíny}}{\text{energie za rok} \times \text{cena kWh}} = \frac{44\,359}{1070,04 \times (2,14 + 1,34)} = 11,9 \text{ let}$$

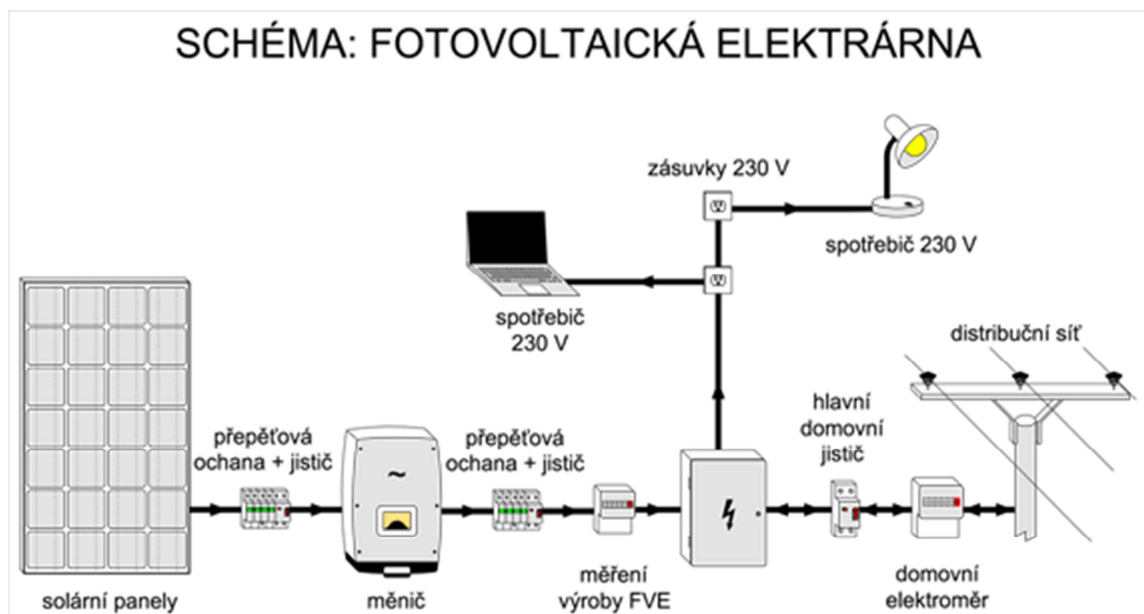
Na objekt lze namontovat tři tyto turbíny.

## 5.2 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaická elektrárna se skládá z určitého počtu fotovoltaických panelů. Ve fotovoltaickém panelu probíhá přímá přeměna slunečního záření na elektrickou energii. Přeměna spočívá ve fyzikálním jevu, který probíhá nehlukně bez vzniku emisí a spotřeby látek v solárně aktivním materiálu. Solární články se skládají z polovodičů, většinou jsou tyto polovodiče křemíkové. [89, 91]

Fotovoltaické elektrárny na střechách rodinných domů většinou fungují v režimu vlastní spotřeby. Fotovoltaické panely jsou ukotveny na střeše a pospojovány kabely, které jsou svedeny dovnitř budovy. Kabely jsou dále zapojeny do zařízení, které se nazývá střídač nebo také měnič. Střídač je zároveň připojen na vnitřní rozvod budovy, obvykle do jistého rozvaděče na samostatný jistič.

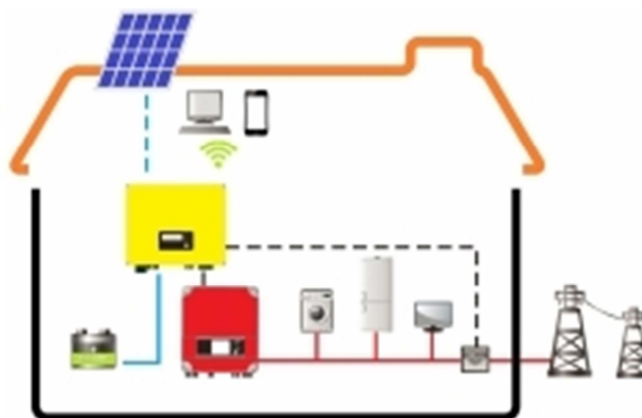
Úkolem střídače je přeměňovat stejnosměrný proud ze solárních panelů na střídavý proud nízkého napětí (230V), na kterém pracuje vnitřní rozvod každého domu. Prostřednictvím solárního měniče je možné dodávat vyrobenou elektřinu z panelů do rozvodů v domě, odkud dále putuje ke spotřebičům. [92]



Obrázek 40 Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny [92]

Fotovoltaické elektrárny na rodinný dům lze využít takto:

- Pro ohřev vody- slunce vyrobí z fotovoltaických panelů elektřinu, která je využívána k ohřevu teplé vody v bojleru nebo zásobníku TUV.
  - o Výhody: snadná instalace, rychlá návratnost
  - o Nevýhody: nevyužívá přebytečnou energii
- Pro pokrytí spotřeby elektrické energie v domě a ohřev vody - slunce vyrobí z fotovoltaických panelů elektřinu, která je využívána k provozu elektrických spotřebičů, nespotebovaná elektřina je použita na ohřev bojleru nebo akumulací nádrže.
  - o Výhody: dostatek teplé vody, dobrá návratnost, rychlá instalace
  - o Nevýhody: nelze využívat elektrickou energii v noci
- Jako hybridní fotovoltaickou elektrárnu s akumulací do baterií - slunce vyrobí z fotovoltaických panelů elektřinu, kterou lze využívat více způsoby v domě (provoz elektrických spotřebičů, ukládání do akumulátorů). Lze zálohovat vybrané spotřebiče.
  - o Výhody: možnost využití elektrické energie vyrobené v noci, monitoring celého systému
  - o Nevýhody: životnost akumulátorů je maximálně 5 let [93]



**Obrázek 41 Schéma fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm [93]**

Vzhledem k využití prvků Industry 4.0 a požadavkům na soběstačnost připadají v potaz pouze dvě možnosti a to přímá spotřeba elektrické energie a její akumulace do baterií.

### Návrh a návratnost solární elektrárny

Střešní plocha objektu o rozloze 40 m<sup>2</sup> je směřována optimálně. [106]

Z dostupných panelů na trhu byl zvolen panel GWL/Sunny Poly 320Wp 72 cells (MPPT 35V) EUFREE. [107] Panel je polykrystalický s výkonem 320Wp a s účinností 16,5%.

Dle solární mapy [108] byla určena celková dopadající energie 1100 kWh/m<sup>2</sup>.rok.

Energie vyrobená za rok v kilowatthodinách je dle vztahu:

$Energie\ rok = celková\ dopadající\ energie \times plocha\ panelů \times účinnost\ panelu$   
(kWh; kWh/m<sup>2</sup>.rok; %)

### Parametry panelu GWL/Sunny Poly 320Wp 72 cells:

Výška (mm) = 1956

Šířka (mm) = 992

Cena (Kč) = 5002

Na dostupnou střešní plochu je možné umístit 20 panelů.

$$Plocha\ panelů = 1,956 \times 0,992 \times 20 = 38,8\ m^2$$

### Následně dosazeno:

$$Energie\ za\ rok = 1100 \times 38,8 \times 0,165 = 7042,2\ kWh$$

### Návratnost solární elektrárny:

Výkupní cena za kWh pro rok 2018 je 0 Kč (výkupní cena) + 0 Kč (zelený bonus) [105]

Výkupní cena je sice nula, ale elektrickou energii je možné spotřebovat a tím ušetřit náklady. Návratnost je tedy počítána k ceně elektřiny dle tarifu D 56d, která činí 2,14 Kč.

$$návratnost = \frac{cena\ panelů}{energie\ vyrobena\ za\ rok \times cena\ kWh} = \frac{5002 \times 20}{7042,2 \times 2,14} = 6,64\ let$$

## 5.3 Ukládání elektrické energie

Ukládání elektrické energie je z energetického hlediska problém. Existuje několik systémů, které jsou v praxi používány:

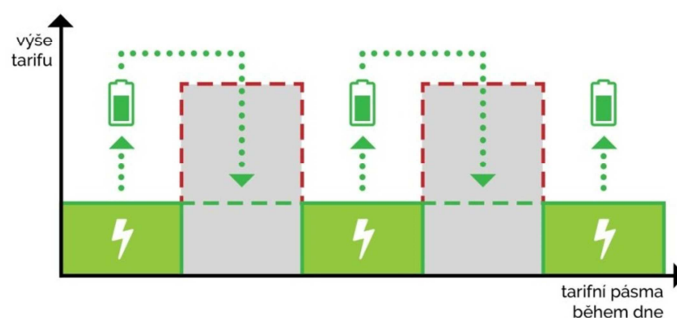
- **Přečerpávací vodní elektrárny (PSH/PVE)** – využívají uložení elektrické energie v době malé spotřeby ve formě potenciální energie vody pro využití v době špičkové spotřeby. Voda je čerpána ze spodní nádrže do horní nádrže, přičemž dochází ke spotřebě elektrické energie. Následně je v době špičky voda vpuštěna do přírodních potrubí a poháněním turbíny, která je hřídelí spojena s generátorem, se generuje elektrický výkon.
- **Akumulace do stlačeného vzduchu (CAES)** – využití elektrické energie v době nízké spotřeby ke stlačení vzduchu a následnému uložení v podzemních kavernách nebo zásobnících. Stlačený vzduch je ve špičce využíván při spalování v plynové turbíně při výrobě elektřiny.
- **Baterie** – při nabíjení vyvolá procházející proud vratné chemické změny, které se projeví rozdílným potenciálem na elektrodách. Tento rozdíl potenciálů (napětí) lze v režimu vybíjení využít k čerpání elektrické energie z baterie (například lithium-ion, lithium-polymer, sodík-síra, olovo-acid).
- **Akumulace ve vodíku (Hydrogen)** – využití vodíku, získaného například elektrolýzou, jako nositele energie. Elektřina je přeměněna, uložena a poté využita v požadované formě – například elektřina, teplo, kapalné palivo.
- **Setrvačníky (Flywheels)** – mechanická zařízení otáčející se vysokou rychlostí, ve kterých je v nich ukládána elektrická energie ve formě rotační (kinetické) energie. Uložená energie



je později zpětně využita při zpomalení setrvačnicku. Proces výroby elektřiny je charakterizován vysokým výkonem a krátkou dobou trvání.

- **Superkapacitory (Supercapacitors)** – elektřina je akumulována v elektrostatickém poli mezi dvěma elektrodami. Tato technologie umožňuje rychlé ukládání a vypuštění elektrické energie.
- **Supravodivé cívky (SMES)** – uskladnění elektrické energie v magnetickém poli, které je vytvořeno průchodem stejnosměrného proudu supravodivou cívku. Supravodivost je dosažena silným zchlazením vodiče na teplotu, kdy materiál vykazuje téměř nulový odpor, což umožňuje dlouhodobý průchod proudu při téměř nulových ztrátách energie. [94]

Z výše uvedených možností připadá pro využití v rodinném: ukládání elektrické energie do baterií, superkapacitoru nebo supravodivé cívky, ale vzhledem k vyspělosti technologie přichází v úvahu pouze bateriové úložiště. Moderní úložiště, které odpovídám prvkům Industry 4.0, by mělo být schopno, kromě samotné akumulace také chytré distribuce a spotřeby a to tak že se při NT dobíjí z vlastních zdrojů nebo ze sítě a při VT energii do sítě prodává nebo ji šetří pro vlastní potřebu v domácnosti. Vzhledem k přibývajícimu instalovanému výkonu neregulovatelných (větrné turbíny, fotovoltaické panely) obnovitelných zdrojů, je možné že se bude NT a VT měnit dynamicky mnohokrát za den. Dále by chytrá baterie měla být vybavena funkcí monitoringu a vzdáleného přístupu.



**Obrázek 42 Schéma využití nízkého tarifu pro dobítí baterie [95]**

Vhodné baterie pro takovou aplikaci mohou být například Tesla Powerwall, nebo E.ON Energy Cloud.

**Tesla Powerwall** je stacionární baterie s kapacitou 7 kWh nebo 10 kWh je určena pro domácnosti. V kombinaci se solární elektrárnou umí vytvořit ostrovní systém, díky kterému se dům může stát nezávislým na rozvodné síti.

Baterie jsou k dispozici za nízkou cenu. Kapacita 10 kWh stojí \$3500 (v přepočtu 87 500 Kč), kapacita 7 kWh pak \$3000 (75 000 Kč). Pro srovnání, jiné 10kWh domácí stacionární baterie v dnešní době stojí obvykle trojnásobek ceny.



**Obrázek 43 Baterie PowerWall [96]**

Celková účinnost baterií Tesla PowerWall je vyšší než 92 %. Mohou pracovat při teplotách od - 20 °C až po 43 °C. Baterie lze samozřejmě používat podobně jako jiné baterie. Dobíjí se primárně z obnovitelných zdrojů energie, ať už jsou to solární elektrárny, malé větrné turbíny nebo malé vodní elektrárny.

Nicméně dokáže pracovat také s rozvodnou sítí. Tak, že se dobíjejí při nízkých tarifech a vybíjejí se při vysokých tarifech. [96]

### **E.ON Energy Cloud**

System v domácí baterii hlídá celý proces sám dle nastavených pravidel. Je možná nastavit čerpání energie v domě. Baterie sama rozhoduje, zda bude čerpat energii ze sítě nebo solárních panelů. System se umí přizpůsobit i předpovědi počasí.

Tento system může být využit již u menších rodinných domů s užitnou plochou do 200 m<sup>2</sup>, s ročními náklady na elektrickou energii do 30 000 Kč a roční spotřebou elektrické energie 5 MWh/ rok. Je možné ho využít i v případě, že na domě nejsou připojeny fotovoltaické panely. V tom případě se místo ze slunečního záření nabíjí baterie z nízkého tarifu.

### **Výhody baterií Energy Cloud:**

#### **Technologie**

Řídící elektroniku a software celých bateriových stanic vyvíjí a vyrábí společnost vlastní.

Technologie a složení baterií jsou vybírány tak, aby co nejlépe odpovídaly potřebám Domácích baterií (dlouhá životnost, bezpečnost).

#### **Jednoduchost**

Instalace nevyžaduje žádné stavební zásahy, povolení nebo změny v elektroinstalaci.

Domácí baterie pracuje zcela automaticky, nemá žádnou potřebu údržby, aktivních zásahů nebo ovládání.

Je možné sledovat online monitoring na tabletu, mobilním telefonu nebo display na Domácí baterii.

### Dostupnost

Domácí baterie vhodné pro 99% domů. Vyrábí se 1 fázové i 3-fázové řešení ve všech volitelných výkonových řadách.

Domácí baterie jsou dostupné i finančně. Je možné využít dotaci Zelená Úsporám nebo firma nabízí možnost splátek. [95]

### Plná volitelnost

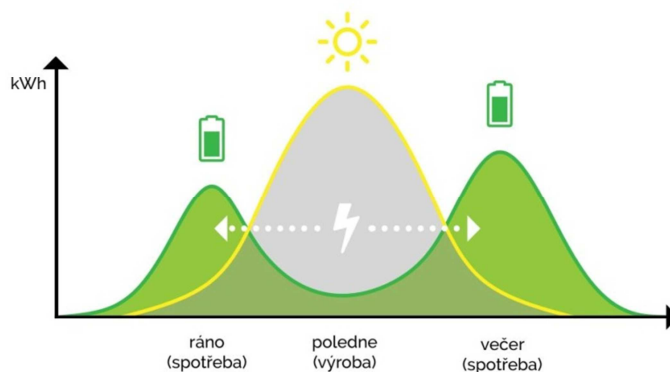
Volitelná kapacita je 7-14-21 kWh nebo zcela volitelně podle specifických potřeb rodinného domu.

Volitelné zapojení je 1-fázové nebo 3-fázové řešení.

### Výhody ukládání elektřiny do domácích baterií:

Finanční úspora - domácí baterie snižuje u domu měsíční náklady na elektřinu až o 70%.

Efektivní využití slunce – elektrická energie je využita, kdy je potřeba a ne když, zrovna svítí slunce.



Obrázek 44 Efektivní využití slunce [95]

Baterie na ukládání přebytečné elektřiny s kapacitou 8 kWh stojí i s využitím dotace 100 000 Kč. Řešení, které nabízí E.ON, si vystačí s měřicím zařízením v ceně zhruba 2000 Kč, jež online ukazuje, kolik subjekt vyrábí elektřiny, kolik jí spotřeboval i kolik jí má uloženo u E.ONu. Plus dalších několik desítek až stovek Kč měsíčně, které stojí služba jako taková podle kapacity virtuální baterie. [97]

Vzhledem k uvedeným parametrům je optimální baterie od firmy Tesla s kapacitou 10 kWh.

## 5.4 Domácí Vodárna

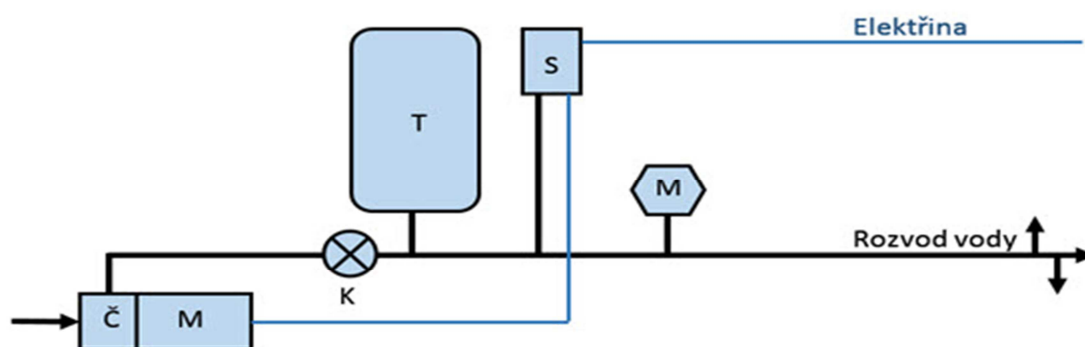
**Domácí vodárna** je soubor zařízení sloužící k automatickému zajištění dodávky vody z vlastního zdroje do vodovodu domu. Jako zdroj pro domácí vodárnu může sloužit studna, vodní vrt nebo zásobní nádrž. [98, 99]

Domácí vodárna je složena z těchto částí: čerpadlo, zpětná klapka a zařízení na ovládání chodu čerpadla.

Čerpadlo – slouží k dopravě vody ze zdroje do místa spotřeby. Má vliv na výkon, průtok vodárny a na dopravní výšku.

Zpětná klapka – slouží k zamezení zpětného toku.

Zařízení ovládající chod čerpadla – tlakový spínač, ovládací jednotka, řídicí jednotka s frekvenčním měničem). [98]



Obrázek 45 Schéma domácí vodárny [98]

Č - čerpadlo (ponorné nebo povrchové)

M - motor čerpadla

K - zpětná klapka

T - tlaková nádoba

S - tlakový spínač

M - manometr (tlakoměr)

### Druhy domácích vodáren

**Domácí vodárna s otevřeným vodojemem** – tento typ se u nás moc nevyskytuje.

**Domácí vodárna s tlakovou nádrží** – je složena z čerpadla, tlakové nádrže, výtlačného a sacího potrubí a obsahuje i pojistné a ovládací zařízení. Tlaková nádoba by měla být tak velká, aby se čerpadlo sepnulo alespoň šestkrát za hodinu.

### Výhody domácích vodáren:

- Snížení nákladů – není napojení do veřejné sítě, kde se platí vodné a stočné. Výrazné úspory jsou také při využití domácí vodárny při sprchování, splachování WC, zalévání zahrady.
- Dostupnost – například při odstávce vody lze zalévat zahradu.
- Stálý tlak vody. [99]

### Návrh a návratnost domácí vodárny

Na trhu jsou domácí vodárny běžně dostupné, vhodná vodárna pro daný objekt je Sigma darling konta 200-2-MU. Tato vodárna má parametry:

- Cena 17 999
- Průtok 0,83 l/s = 2,988 m<sup>3</sup>/hod
- Výkon 1,5 kW

Pro návratnost investice bude nejprve vypočítaná cena za jeden metr krychlový vody a následně celková návratnost, kde index 1 značí cenu vody z inženýrské sítě a index 2 cenu vody z domácí vodárny. [108]

$$\text{Cena za metr krychlový} = \frac{\text{cena elektřiny za hodinu}}{\text{průtok za hodinu}} = \frac{1,5 \times 2,14}{2,988} = 1,07 \text{ Kč/m}^3$$

$$\text{Celková návratnost} = \frac{\text{cena vodárny}}{\text{cena m}_1^3 - \text{cena m}_2^3} = \frac{17\,999}{93 - 1,07} = 2,51 \text{ roku}$$

Objekt má k dispozici jímku, do které lze svést odpadní vodu.

## 6 Návrh chytrého objektu s energetickou soběstačností

Návrh chytrého objektu bude realizován ve dvou provedení. První návrh bude naprosto ideální, tak jak by měl vypadat dům s využitím prvků Industry 4.0. Nicméně u tohoto návrhu nebude řešeno, jestli je vůbec reálné takový objekt uvést do reálného provozu. Druhý návrh bude vycházet z prvního návrhu, ale bude kladen nárok na to, aby tento návrh bylo možné v současné době realizovat a zároveň byl co nejbližší ideálnímu návrhu.

Pro návrh chytrého objektu bude využíváno filozofických i technických prvků Industry 4.0, které byly představeny v kapitole 2.

Z filozofických prvků při návrhu bude přihlíženo na interoperabilitu, virtualizaci, schopnost pracovat v reálném čase, decentralizaci a orientaci na služby.

Z technologických prvků lze pro návrh chytrého objektu využít chytrou dodavatelskou síť, vzdálená kontrola, cloudové technologie, kybernetická bezpečnost, inteligentní senzory, kyberneticko-fyzikální systémy, chytrá údržba, chytré prostředky, 3D tisk, rozšířená realita, robotiku a automatizaci.

Dále bude vycházeno ze všech teoretických i technických závěrů popsanych v kapitolách 3, 4, 5 a 6.

### 6.1 Ideální soběstačný objekt dle prvků Industry 4.0

Tento objekt bude navrhován tak aby co nejvíce odpovídal prvkům Industry 4.0. Nicméně technologie schopné pro jeho realizaci nemusí být v současné době dostupné, ale je pravděpodobné že tímto směrem půjde jejich vývoj a mohou být dostupné v časovém úseku okolo 10 let.

#### 6.1.1 Centrální server

Srdcem celého domu bude centrální server, na kterém bude nahrán veškerý řídicí software všech zařízení v objektu. Veškerý software bude mít otevřený zdrojový kód včetně operačního systému, zároveň software může být nahrán u poskytovatele a přes centrální server jen propojen se zařízením.

Provázanost serveru s konceptem Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, cloudové technologii, kybernetické bezpečnosti, orientaci na služby, vzdálené kontrole.

#### 6.1.2 Řízení teploty

O optimální prostředí se v chytrém objektu budou starat tři technologie, budou jimi zdroj tepla, stínící technika a ventilace. Každá technologie bude opatřena příslušnými senzory. Zdrojem tepla bude tepelné čerpadlo. Stínící technika bude provedena pomocí motorem poháněných žaluzií a ventilace bude řešena rekuperací. Řídicí systém, všech technologií bude napojen na centrální server, na kterém bude nastavena ideální teplota v každé místnosti v závislosti na čase. V provozu by mohl algoritmus probíhat následovně:

- Systém má nastaveno, aby v 8:00-9:00 byla teplota v koupelně zvýšena o 4°C.
- Centrální server „ví“, jak dlouho takové nahřátí trvá a proto v čas vydává příkaz k vytápění v koupelně o stavu teploty systém informují senzory.

- Uživatel se jde ráno osprchovat, to ale tvoří velké množství páry, kterou zaznamenají senzory a server proto vydává příkaz pro ventilaci, aby páru a přebytečné teplo odvětrala.
- V jiné místnosti začíná slunce svítit do okna, čidlo to zaznamená a systém otevírá žaluzie, do místnosti tak proniká sluneční záření a ohřívá místnost, tím se šetří energie nutná pro provoz tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo je schopno i reverzního chodu a v letních měsících je schopno místnosti chladit, podobnou schopnost mají i žaluzie, které jsou schopny pod správným úhlem sluneční záření odrážet. Celý systém je možné vzdáleně řídit pomocí chytrých přístrojů, přímo v domě pomocí rozšířené reality, nebo hlasem. Díky vzdálenému přístupu a pokročilé diagnostice vidí instalační firma stav tepelného čerpadla, v případě nějaké poruchy nebo nutnosti údržby je okamžitě informována a vysílá na místo technika.

Provázanost řízení teploty s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, vzdálené kontrole, inteligentními senzory, chytrých prostředcích, chytré údržbě, automatizaci a rozšířené realitě.

### 6.1.3 Bezpečnost

O bezpečnost se v chytrém objektu budou starat chytré zámky, pohybové senzory, automatická vrata, kamerový a zvukový systém, vše bude napojeno na centrální server. Bezpečnostní systém bude řešit tři základní úkoly a to vstup uživatelů objektu, vstup cizích osob a nechtěný vstup osob.

- Při vstupu uživatele do objektu ho systém pozná a bez jakékoliv nutnosti odemykání či zadávání kódu uživatele vpustí dovnitř. Pokud uživatel vstupuje do objektu autem, systém rozpozná vozidlo a automaticky jej vpustí také.
- Pokud k objektu přijde cizí osoba například pošťák s balíčkem a zazvoní, tak uživatel dostává notifikaci do mobilního telefonu. Poté co uvidí pracovníka na kamerách, předá mu pomocí zvukového systému instrukce a vzdáleně odemkne zámek. Poté co položí balíček uvnitř a zavře, systém za sebou zámky zase zamkne.
- V případě neoprávněného vniknutí do objektu je systém schopen poznat narušitele a spustí alarm, dále automaticky informuje bezpečnostní složky.

V poslední řadě bude bezpečnostní systém vybaven diagnostickými senzory a v případě závady je automaticky informován uživatel.

Provázanost bezpečnostního systému s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, robotizaci, automatizaci a rozšířené realitě.

### 6.1.4 Osvětlení

O osvětlení se v chytrém domě budou starat chytrá světla, inteligentní senzory, audiotechnika a chytrá tlačítka. Vše bude připojeno na centrální server, na kterém bude zprostředkován řídicí software. V případě poruchy je systém vybaven diagnostikou a okamžitě uživatel dostává notifikaci. Veškeré osvětlení bude řízeno pomocí přednastavených módů. Módy lze ovládat i editovat pomocí tlačítek, chytrých zařízení se vzdáleným přístupem, rozšířenou realitou a hlasem. Každá místnost má minimálně jeden vlastní mód a ten se automaticky aktivuje při vstupu uživatele. Módy by mohli být nastaveny například následovně:

- Mód stálé hladiny světla. Tento mód by využíval senzoru intenzity světla, tak aby v místnosti byly stále stejné světelné podmínky. V průběhu dne by dostatek světla zajišťovalo slunce, nicméně při snížení intenzity světla v místnosti systém automaticky zapne světla a to na takovou intenzitu aby přesně doplnili hladinu světla v místnosti do přednastavené hladiny.
- Mód sledování televize. Tento mód by využíval různé hladiny světla v místnosti, tam kde by byla televize, světla by nesvítila a ve zbytku místnosti budou tlumena.
- Mód spánku. Tento mód je určen pro celý dům a předpokládá, že uživatelé spí. V případě probuzení uživatele uprostřed noci systém zaznamená pohyb a rozsvítí tlumená světla, při pohybu uživatele domem jsou rozsvícena pouze světla, kde se uživatel pohybuje.

Provázanost osvětlení s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, orientaci na služby, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentními senzory, chytré údržbě, chytrých prostředcích, automatizaci a rozšířené realitě.

### 6.1.5 Chytré spotřebiče

Chytré spotřebiče v chytrém domě budou využívat různých prvků. Nicméně každý chytrý přístroj bude koncipován tak, že bude propojen s centrálním serverem. Na centrálním serveru nebo mimo něj pak bude probíhat řízení stroje, protože je zbytečné, aby každý přístroj měl vlastní výpočetní výkon.

### Lednička

Kromě běžné funkce ledničky má chytrá lednička další funkce, pro zvýšení komfortu uživatelů. Mezi tyto funkce patří:

- Lednice bude skenovat potraviny a vytvářet jejich seznam. Pokud se blíží datum spotřeby, automaticky upozorní uživatele. Dále lednice vytváří automaticky seznam potravin, které je potřeba dokoupit, ten pak může být objednan automaticky nebo po potvrzení uživatelem. Dále bude lednice schopna na základě seznamu potravin vytvořit možné recepty, které z nich jdou uvařit.
- Systém lednice bude dále schopen vzít v potaz, že některý z uživatelů drží dietu nebo některé potraviny nekonzumuje.
- Lednice automaticky zapisuje snědené potraviny, uživatel tím získá přehled o svém denním příjmu.
- Lednice bude vybavena diagnostickým systémem a v případě poruchy automaticky dostává uživatel notifikaci.
- Lednici bude možné vzdáleně ovládat pomocí chytrých přístrojů, pomocí rozšířené reality nebo hlasem.

Provázanost lednice s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, decentralizaci, orientaci na služby, chytré dodavatelské sítě, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, automatizaci a rozšířené realitě.



## **Vysavač**

Chytrý vysavač bude zcela samostatně a automaticky vysávat celý dům. Díky pokročilému softwaru bude schopen automaticky vyhodnocovat kdy je vysávat vhodné, jak z hlediska nečistot v domácnostech tak z hlediska nabíjení energie, to bude řešeno funkcí StartSmart. V případě náhlé potřeby úklidu, například když uživatel něco rozsype, lze vysavač ovládat hlasem, chytrými prostředky a rozšířenou realitou. Dále bude vysavač vybaven diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

Provázanost vysavače s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, orientaci na služby, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, kyberneticko-fyzikálních systémech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, robotizaci, automatizaci a rozšířené realitě.

## **Pračka**

Chytrá pračka zcela samostatně zvolí program na základě typu prádla, které do ní uživatel vloží. Uživatel dále zvolí čas, kdy chce mít prádlo vyprané a pračka tak zvolí optimální dobu praní díky funkci StartSmart. Pračku je možné ovládat hlasem, rozšířenou realitou nebo vzdáleně pomocí chytrých přístrojů. Pračka bude mít zabudovaný zásobník pracího prostředku, v případě že dochází, dostává uživatel notifikaci nebo je pračka schopna automatické objednávky. Dále bude pračka vybavena diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

Provázanost pračky s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, orientaci na služby, chytré dodavatelské síti, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, automatizaci a rozšířené realitě.

## **Trouba**

Chytrá trouba dokáže zcela samostatně nastavit teplotu a dobu pečení na základě typu vložené potraviny. Poté co trouba upeče danou potravinu, automaticky odešle uživateli notifikaci. Trouba bude vybavena funkcí samočištění, které probíhá tak že se zahřeje na 500 °C a veškeré nečistoty spálí. Troubu je možné ovládat hlasem, rozšířenou realitou nebo vzdáleně pomocí chytrých přístrojů. Dále bude trouba vybavena funkcí SmartStart a diagnostickým zařízením, které v případě poruchy automaticky odesílá uživateli informaci.

Provázanost trouby s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, automatizaci a rozšířené realitě.

### **6.1.6 Chytrá zahrada**

Na zahradě objektu budou využity dvě chytré technologie, technologie chytré závlahy a robotická sekačka, obě technologie mají příslušné senzory.

#### **Chytrá závlaha**

Chytrá závlaha je připojena na centrální server, který zprostředkovává její software. Využívá senzorů pro měření vlhkosti a dle toho provádí závlahu, navíc je schopna respektovat, kterou

rostlinu zavlažuje a upraví pro ni podmínky závlivky optimálně. Dále respektuje předpověď počasí a je vybavena funkcí SmartStart, díky tomu automaticky optimalizuje vhodnou dobu pro zalévání. Zálivku je také možné ovládat hlasem, pomocí rozšířené reality nebo vzdáleně chytrými prostředky. Dále bude vybavena diagnostickým zařízením, které v případě poruchy informuje uživatele.

### **Robotická sekačka**

Robotická sekačka je připojena na centrální server, který zprostředkovává její software. Využívá senzorů pro růst trávy a udržuje trávník na přednastavené výšce. Robotická sekačka komunikuje se závlahovým zařízením, tudíž se nemůže stát, že by sekala v průběhu zalévání. Její provoz je automatický nebo jej může ovládat uživatel hlasem, pomocí rozšířené reality nebo vzdáleně chytrými prostředky. Dále je vybavena funkcí SmartStart a diagnostickým zařízením, které v případě poruchy informuje uživatele.

Provázanost chytré zahrady s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, orientaci na služby, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, kyberneticko-fyzikálních systémech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, robotizaci, automatizaci a rozšířené realitě.

## **6.1.7 Energetická soběstačnost**

Energetická soběstačnost objektu, bude zajištěna čtyřmi technologiemi a to větrnou turbínou, fotovoltaickou technologií, úložištěm energie a domácí vodárnou. Větrná turbína a fotovoltaická technologie zajišťují výrobu elektrické energie, kterou ukládají do úložiště nebo je přímo spotřebovávána spotřebiči. Veškeré spotřebiče v chytrém domu jsou úmyslně koncipovány tak, aby jiný zdroj energie než elektrický nepotřebovaly. O dostatek vody v domě se bude starat domácí vodárna, která bude čerpat vodu ze studny.

### **Větrná turbína**

Bude se jednat o běžnou větrnou turbínu, která začne při své startovací rychlosti vyrábět elektrický proud. Turbína bude připojena na server a uživatel tak má přehled o statistikách. Turbína bude vybavena diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

### **Fotovoltaická technologie**

Jedná se o fotovoltaické střešní tašky nebo panely, které přeměňují solární energii na elektrický proud. Fotovoltaické panely budou připojeny na server a uživatel tak má přehled o statistikách. Fotovoltaické panely budou vybaveny diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

### **Domácí vodárna**

Jedná se o běžnou vodárnu, která bude opatřena funkcí SmartStart. Vodárna bude připojena na server a uživatel tak má přehled o statistikách. Dále bude vodárna vybavena diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

## Úložiště energie

Jedná se hybridní kombinaci baterie a superkapacitoru. Vzhledem k faktu, že zdroje elektrické energie nejsou nijak regulovat, připadá veškeré inteligentní řízení a distribuce energie na úložišti energie. Úložiště je připojeno na centrální server, který zprostředkovává řídicí software. Software komunikuje s předpovědí počasí a s chytrou distribuční sítí elektrické energie. S energií automaticky optimálně nakládá dle uživatelského nastavení, to může být například pro maximální zisk nebo pro maximální nezávislost. Zároveň řízení úložiště ovlivňuje spotřebiče s funkcí SmartStart. Ovládat energetické úložiště je možné hlasem, rozšířenou realitou nebo vzdáleně chytrými prostředky. Úložiště bude vybaveno diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

Provázanost energetické soběstačnosti s prvky Industry 4.0 bude spočívat v interoperabilitě, virtualizaci, schopnosti pracovat v reálném čase, decentralizaci, orientaci na služby, chytré dodavatelské sítě, vzdálené kontrole, cloudové technologii, inteligentních senzorech, kyberneticko-fyzikálních systémech, chytré údržbě, chytrých prostředcích, automatizaci a rozšířené realitě.

## 6.2 Reálný soběstačný objekt dle prvků Industry 4.0

V následujících kapitolách bude představen návrh objektu pomocí běžně dostupných technologií. Současné technologie nejsou natolik vyspělé, aby odpovídali všem prvkům Industry 4.0. Tento návrh vychází z ideálního návrhu popsaného v kapitole 7.1, a proto bude velice podobný. Na konci každé kapitoly bude popsán rozdíl oproti ideálnímu stavu. Vzhledem k zachování co největší interoperability jsou některé prvky voleny jako balík na klíč a ne jako jednotlivé komponenty. Tento balík se nazývá SmartHome.

### 6.2.1 Centrální server

Srdcem celého domu bude centrální server, na kterém bude nahrán řídicí software zařízení balíku SmartHome. Veškerý software má uzavřený zdrojový kód včetně operačního systému a software nemůže být nahrán u poskytovatele. Uživatel je tak nucen kupovat zařízení pouze jednoho výrobce.

Rozdíl oproti ideálu je tedy v uzavřeném softwaru a nemožnosti propojení všech zařízení.

### 6.2.2 Řízení teploty

O optimální prostředí se v chytrém objektu budou starat tři technologie, budou jimi zdroj tepla, stínící technika a ventilace. Každá technologie bude opatřena příslušnými senzory. Zdrojem tepla bude tepelné čerpadlo. Stínící technika bude provedena pomocí motorem poháněných žaluzií a ventilace bude řešena rekuperací. Řídicí systém všech technologií bude napojen na centrální server, na kterém bude nastavena ideální teplota v každé místnosti v závislosti na čase. V provozu by mohl algoritmus probíhat následovně:

- Systém má nastaveno, aby v 8:00-9:00 byla teplota v koupelně zvýšena o 4°C.
- Centrální server „ví“, jak dlouho takové nahřátí trvá a proto v čas vydává příkaz k vytápění v koupelně o stavu teploty systém informují senzory.

- Uživatel se jde ráno osprchovat, to ale tvoří velké množství páry, kterou zaznamenají senzory a server proto vydává příkaz pro ventilaci, aby páru a přebytečné teplo odvětrala.
- V jiné místnosti začíná slunce svítit do okna, čidlo to zaznamená a systém otevírá žaluzie, do místnosti tak proniká sluneční záření a ohřívá místnost, tím se šetří energie nutná pro provoz tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo je schopno i reverzního chodu a v letních měsících je schopno místnosti chladit, podobnou schopnost mají i žaluzie, které jsou schopny pod správným úhlem sluneční záření odrážet. Celý systém je možné vzdáleně řídit pomocí chytrých přístrojů nebo přímo v domě pomocí tlačítek.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality a možnosti řízení pomocí tlačítek. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit. Dále je software šitý na míru dané společnosti, která provádí instalaci a není tudíž modulární a interoperabilní.

### 6.2.3 Bezpečnost

O bezpečnost se v chytrém objektu budou starat chytré zámky, pohybové senzory, dálkově ovládaná vrata, kamerový a zvukový systém, dálkově ovládaná vrata nebudou napojena na centrální server. Bezpečnostní systém bude řešit tři základní úkoly a to vstup uživatelů objektu, vstup cizích osob a nechtěný vstup osob.

- Při vstupu uživatele do objektu musí prokázat, že to je on, zadáním hesla otisku prstu nebo si odemknout chytrým zařízením. Pokud uživatel vstupuje do objektu autem, je nutné je otevřít dálkovým ovladačem.
- Pokud k objektu přijde cizí osoba například pošťák s balíčkem a zazvoní, tak uživatel dostává notifikaci do mobilního telefonu. Poté co uvidí pracovníka na kamerách, předá mu pomocí zvukového systému instrukce a vzdáleně odemkne zámek. Poté co položí balíček uvnitř a zavře, uživatel vzdáleně zamkne objekt.
- V případě neoprávněného vniknutí do objektu je systém schopen poznat narušitele a spustí alarm, dále automaticky informuje bezpečnostní složky.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá ve vratech pro automobil, která jsou dálkově ovládána ovladačem. V neautomatickém vstupu do objektu a absenci diagnostického zařízení. Dále chybí softwarové propojení vrat a modulární software pro zámky, senzory i kamery, který je šitý na míru společností co instaluje SmarHome.

### 6.2.4 Osvětlení

O osvětlení se v chytrém domě budou starat chytrá světla, inteligentní senzory a chytrá tlačítka. Vše bude připojeno na centrální server, na kterém instalován řídicí software balíku SmarHome. Veškeré osvětlení bude řízeno pomocí přednastavených módů. Módy lze ovládat i editovat pomocí tlačítek a chytrých zařízení se vzdáleným přístupem. Každá místnost má minimálně jeden vlastní mód a ten se aktivuje pomocí tlačítka. Módy by mohly být nastaveny například následovně:

- Mód stálé hladiny světla. Tento mód by využíval senzoru intenzity světla, tak aby v místnosti byly stále stejné světelné podmínky. V průběhu dne by dostatek světla zajišťovalo slunce, nicméně při snížení intenzity světla v místnosti systém

automaticky zapne světla a to na takovou intenzitu aby přesně doplnila hladinu světla v místnosti do přednastavené hladiny.

- Mód sledování televize. Tento mód by využíval různé hladiny světla v místnosti, tam kde by byla televize, světla by nesvítila a ve zbytku místnosti budou tlumena.
- Mód spánku. Tento mód je určen pro celý dům a předpokládá, že uživatelé spí. V případě probuzení uživatele uprostřed noci systém zaznamená pohyb a rozsvítí tlumená světla, při pohybu uživatele domem jsou rozsvícena pouze světla, kde se uživatel pohybuje.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality a možnosti řízení pomocí tlačítek. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit. Dále je software šitý na míru dané společnosti, která provádí instalaci a není tudíž modulární a interoperabilní.

### 6.2.5 Chytré spotřebiče

Chytré spotřebiče v chytrém domě budou využívat různých prvků. Každý spotřebič má svou vlastní řídicí jednotku a není možné ho propojit s centrálním serverem.

#### Lednička

Kromě běžné funkce ledničky má chytrá lednička další funkce, pro zvýšení komfortu uživatelů. Mezi tyto funkce patří:

- Lednice bude skenovat potraviny a vytvářet jejich seznam. Pokud se blíží datum spotřeby, automaticky upozorní uživatele. Dále lednice vytváří automaticky seznam potravin, které je potřeba dokoupit. Dále bude lednice schopna na základě seznamu potravin vytvořit možné recepty, které z nich jdou uvařit.
- Lednice bude mít zabudované kamery a uživatel se tak může kdykoliv podívat co je uvnitř.
- Systém lednice bude dále schopen vzít v potaz, že některý z uživatelů drží dietu nebo některé potraviny nekonzumuje.
- Lednici bude možné vzdáleně ovládat pomocí chytrých přístrojů.
- Lednice má zabudovaný dotykový display, který je napojen na operační systém a lze ho používat jako tablet.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit a systém lednice nelze propojit s centrálním serverem. Co se funkcí týče, současné lednice nejsou v České Republice schopny automatických objednávek. Dále nejsou schopny zapisovat snědené potraviny.

#### Vysavač

Chytrý vysavač bude zcela samostatně a automaticky vysávat celý dům. Je přednastaven na předem určené cykly, v kterých se aktivuje a pracuje. V případě náhlé potřeby úklidu, například když uživatel něco rozsype, lze vysavač ovládat chytrými prostředky.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit a systém

vysavače nelze propojit s centrálním serverem. Dále je přednastaven na předem dané cykly, což nemusí být vždy optimální.

### **Pračka**

Chytrá pračka zcela samostatně dávkuje prací prostředek na základě hmotnosti prádla uvnitř bubny. Uživatel může nastavit čas, kdy chce spustit praní. Pračku je možné ovládat vzdáleně pomocí chytrých přístrojů. Dále bude pračka vybavena diagnostickým zařízením a v případě poruchy automaticky dostává uživatel informaci.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Systém pračky nelze propojit s centrálním serverem. Dále není možné využít funkce SmartStart a uživatel musí sám volit program pro praní prádla.

### **Trouba**

Chytrá trouba má přednastavenou funkci chytrý průvodce, který uživateli pomůže zvolit vhodný pečicí program. Poté co trouba upeče danou potravinu, automaticky odešle uživateli notifikaci. Trouba bude vybavena funkcí samočištění, které probíhá tak že se zahřeje na 500 °C a veškeré nečistoty spálí. Troubu je možné ovládat vzdáleně pomocí chytrých přístrojů nebo manuálně.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit a systém trouby nelze propojit s centrálním serverem. Dále není trouba schopna automaticky rozeznat danou potravinu a uživatel musí program zvolit manuálně.

### **6.2.6 Chytrá zahrada**

Na zahradě objektu budou využity dvě chytré technologie, technologie chytré závlahy a robotická sekačka, obě technologie mají příslušné senzory.

#### **Chytrá závlaha**

Chytrá závlaha je připojena na centrální server, který zprostředkovává její software. Využívá senzorů pro měření vlhkosti a dle toho provádí závlahu. Dále respektuje předpověď počasí a je možné ji vzdáleně ovládat chytrými prostředky.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality a systém nelze propojit s centrálním serverem. Diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit. Dále není možné využít funkci SmartStart nebo respektovat určitou rostlinu pro optimalizaci zálivky.

#### **Robotická sekačka**

Robotická sekačka je automatický samostatný systém. Využívá senzorů pro růst trávy a udržuje trávník na přednastavené výšce. Její provoz je automatický nebo jej může ovládat uživatel vzdáleně chytrými prostředky.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit. Dále není možné využít funkci SmartStart a při automatickém provozu může sekačka začít pracovat v průběhu zalévání.

### **6.2.7 Energetická soběstačnost**

Energetická soběstačnost objektu, bude zajištěna čtyřmi technologiemi a to větrnou turbínou, fotovoltaickou technologií, úložištěm energie a domácí vodárnou. Větrná turbína a fotovoltaická technologie zajišťují výrobu elektrické energie, kterou ukládají do úložiště nebo je přímo spotřebovávána spotřebiči. Veškeré spotřebiče v chytrém domu jsou úmyslně koncipovány tak, aby jiný zdroj energie než elektrický nepotřebovaly. O dostatek vody v domě se bude starat domácí vodárna, která bude čerpat vodu ze studny.

#### **Větrná turbína**

Bude se jednat o běžnou větrnou turbínu, která začne při své startovací rychlosti vyrábět elektrický proud. Turbína bude připojena na server a uživatel tak má přehled o statistikách.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v absenci diagnostického zařízení.

#### **Fotovoltaická technologie**

Jedná se o fotovoltaické střešní tašky nebo panely, které přeměňují solární energii na elektrický proud. Fotovoltaické panely budou připojeny na server a uživatel tak má přehled o statistikách.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v absenci diagnostického zařízení.

#### **Domácí vodárna**

Jedná se o běžnou domácí vodárnu, která čerpá vodu ze studny do zásobníku, z kterého následně zásobuje objekt.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v absenci diagnostického zařízení a funkce SmartStart. Vodárnu také není možné připojit k centrálnímu serveru.

#### **Úložiště energie**

Jedná se o bateriové úložiště. Vzhledem k faktu že zdroje elektrické energie nejdou nijak regulovat, připadá veškeré inteligentní řízení a distribuce energie na úložišti energie. Úložiště je připojeno na centrální server. S energií automaticky optimálně nakládá dle výkupní a prodejní ceny. Ovládat energetické úložiště je možné vzdáleně chytrými prostředky.

Rozdíl oproti ideálu tedy spočívá v nemožnosti řízení pomocí hlasu nebo rozšířené reality. Rozšířená diagnostika také není součástí a chybu či závadu musí uživatel zjistit. Dále je rozdíl v technologii, jedná se pouze o bateriové úložiště s vlastním softwarem, nijak nekomunikuje s počasím a řídí se pouze cenou elektřiny.

## 7 Kalkulace

Tato kapitola se zabývá finanční stránkou diplomové práce. V kapitolách 2-6 jsou uvedeny různé výpočty a porovnání, v této kapitole bude pracováno pouze s výsledky, na které bude odkázáno. Dále zde budou nové navrhované prvky rozděleny do dvou skupin a to investiční a komfortní. Investiční prvek je takový prvek, který má určitou návratnost, kterou je možné vyčíslit penězi. Komfortní prvek je takový prvek, který pouze zvyšuje komfort uživatelů.

### Cena na současný provoz

Tabulka 7 náklady na současný provoz

Název nákladů na provoz	Počet jednotek na rok	Cena za jednotku v Kč	Cena nákladů v Kč
Uhlí	9,5 t, 44 525 kWh	3300	31 350
Ohřev vody	2750 kWh	1,9	5225
Elektřina NT	315 kWh	1,9	599
Elektřina VT	1835 kWh	4,54	8331
Voda	78 m <sup>3</sup>	93	7254
<b>Celkem</b>	<b>44 525 kWh, 78m<sup>3</sup>, 4900 kWh</b>		<b>52758</b>

### Navrhované investiční prvky:

Tabulka 8 investiční prvky

Název prvku	Roční produkce	Cena jednotky v Kč	Náklady na rok	Cena prvku
Tepelné čerpadlo*	-8596 kWh	2,14	-18 394	222 500
Větrná elektrárna	3210 kWh	3,96***	12 711	133 077
Solární elektrárna	7042 kWh	2,14	15 070	100 040
Bateriové úložiště**	-	-	-	87 500
Domácí vodárna	-39 kWh	2,14	-83	17 999
<b>Celkem</b>	<b>+1617 kWh</b>	<b>-</b>	<b>+9303</b>	<b>561 116</b>

\*Vytápění + ohřev vody s topným faktorem 5,5

\*\*Bateriové úložiště je nutné pro plynulý provoz elektráren, proto je nutné s ním počítat, i když negeneruje zisk.

\*\*\* Průměrná cena elektřiny za předpokladu že bude veškerá energie spotřebována a přebytek 1617 kWh prodán.

Roční produkce energie je +1617 kWh to znamená, že je daný objekt soběstačný a navíc ještě vyprodukuje energii, kterou za kterou obdrží spolu se zeleným bonusem 9303 Kč.

### Celková návratnost investičních prvků:

$$\text{návratnost} = \frac{\text{cena investičních prvků}}{\text{rozdíl v nákladech}} = \frac{561\,116}{52758 + 9303} \cong 9 \text{ let}$$



Výpočty týkající se energetické soběstačnosti počítají s průměrnými ročními hodnotami. Tyto hodnoty dávají pouze orientační pohled na věc, pro přesné výpočty by bylo nutné mít přesně naměřené statistické data, nicméně návrh optimálního ostrovního systému nebyl cílem práce a tyto orientační hodnoty ukazují, že je provedení realizovatelné.

### Navrhované komfortní prvky:

**Tabulka 9 náklady na komfortní prvky**

Název komfortního prvku	Cena komfortního prvku v Kč
<b>Instalace SmartHome*</b>	<b>300 000</b>
<b>Větrání**</b>	<b>50 000</b>
<b>Lednice</b>	<b>120 000</b>
<b>Vysavač</b>	<b>18 000</b>
<b>Pračka</b>	<b>30 000</b>
<b>Trouba</b>	<b>13 000</b>
<b>Sekačka</b>	<b>20 000</b>
<b>Celkem</b>	<b>551 000</b>

\*Instalace obsahuje: centrální server, řízení teploty, stínění, bezpečnostní prvky, osvětlení, závlahu, veškeré kabelové rozvody, proto byla zvolena téměř nejvyšší cena

\*\* Vzhledem k šetrnému větrání uživateli v objektu a tudíž nízkým tepelným ztrátám tak vzniklým, je tento prvek zařazen do komfortních prvků

## 8 Závěr

V této diplomové práci byl nejprve představen koncept Industry 4.0, nejprve z filozofického hlediska kde bylo představeno šest základních pilířů, těmi jsou interoperabilita, virtualizace, decentralizace, schopnost pracovat v reálném čase, orientace na služby, modularita a rekonfigurace. Dále bylo představeno patnáct technologických oblastí, těmi jsou chytrá dodavatelská síť, výrobní systém další generace, cloudová úložiště a procesy, analýza dat, kybernetická bezpečnost, inteligentní senzory, kyberneticko-fyzikální systémy, chytrá údržba, mobilní pracovní prostředky, autonomní vozidla, inteligentní produkt, aditivní výroba, robotika, pokročilé materiály a reagující výroba.

V druhé části byl zdokumentován současný stav objektu a jeho rozměry byly zakresleny do půdorysu, také byly vypočteny roční náklady na provoz, které činí 52 758 Kč.

V dalších třech částech práce byly popsány, navrženy a vykalkulovány komponenty a technologie, které byly využity při návrhu chytrého domu a zahrady s energetickou soběstačností. První z těchto částí se zabývala prvky pro návrh chytrého domu. Druhá část se zabývala prvky pro návrh chytré zahrady. Poslední část se zabývala energetickou soběstačností. Mezi klíčové technologie se dá zařadit centrální server, tepelné čerpadlo nebo hybridní elektrárna.

Následně po analýze konceptu Industry 4.0 a návržení komponentů byly provedeny dva návrhy chytrého objektu. První návrh byl navrhován tak, aby ideálně odpovídal konceptu Industry 4.0, nicméně technologie v současné době nejsou na takové úrovni, aby tento návrh mohl fungovat. Proto byla navržena druhá reálná verze, která vycházela z ideální a co nejvíc ji kopíruje, ale k jejímu návrhu jsou použity technologie, které lze na současném běžném trhu koupit.

Nakonec po návrhu reálné verze byla provedena její kalkulace, v zadání práce bylo stanoveno, aby byl objekt energeticky soběstačný a byly provedeny úspory energie. Stav objektu v současném stavu je takový že, potřebuje pro svůj provoz 9,5 tun černého uhlí, které vyrobí 44 525 kWh tepelné energie, dále odebere ze sítě 78 m<sup>3</sup> vody a spotřebuje 4900 kWh elektrické energie, to stojí 52 758 Kč každý rok. Nové úsporné a energeticky soběstačné řešení nepotřebuje pro svůj provoz vůbec nic, naopak vyrobí 1617 kWh elektrické energie a předpokládá se zisk 9303 Kč každý rok. Tento návrh stojí 561 116 Kč a návratnost je při současných cenách 9 let. Dále byly navrženy prvky, které pouze zvyšují komfort uživatelům, a proto nebyla počítána jejich návratnost cena těchto prvků je 551 000 Kč.

## 9 Zdroje

1. *Zones.sk: Studenské práce* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.zones.sk/studentske-prace/dejepis/2217-svet-v-obdobi-1-a-2-prumyslove-revoluce/>
2. *Wikipedia: Průmyslová revoluce* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmyslov%C3%A1\\_revoluce](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmyslov%C3%A1_revoluce)
3. *Wikipedia: Industrial Revolution* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Revolution)
4. *Technický týdeník: Od 1. průmyslové revoluce ke 4.* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4\\_31001.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html)
5. *Leaves & Beans of History: The Industrial Revolution* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.baristaguil dofamerica.net/leaves-beans-of-history-the-industrial-revolution/>
6. *Konstruktor: Co znamená čtvrtá průmyslová revoluce?* [online]. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.konstruktor.cz/2015/10/29/co-znamen-a-ctvrta-prumyslova-revoluce/>
7. *Wikipedia: Rapid prototyping* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid\\_prototyping](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping)
8. *Strojírna Tyc: Portálové obráběcí centrum – FSGC* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.strojirna-tyc.cz/fsgc/>
9. PETERKA, Jiří. *Interoperabilita* [online]. In: . [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a239c120.php3#>
10. *Science Direct: The Role of Interoperability* [online]. 1. 7. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://ac.els-cdn.com/S2405896317317615/1-s2.0-S2405896317317615-main.pdf?\\_tid=3994bf99-c6c9-4976-be37-bc9beb103cc1&acdnat=1526807180\\_a8848017aa6c0de06a55d1fca8561358](https://ac.els-cdn.com/S2405896317317615/1-s2.0-S2405896317317615-main.pdf?_tid=3994bf99-c6c9-4976-be37-bc9beb103cc1&acdnat=1526807180_a8848017aa6c0de06a55d1fca8561358)
11. *Mitsubishi Electric: Mitsubishi Electric zve na cestu do Průmyslu 4.0* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/news/newsletter/show?id=426&table=nletter#id1>
12. *Eltec: Industry 4.0* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.eltec.de/en/markets/industrial-applications/industry-4.0.php>
13. MAŘÍK, Vladimír. *Je Industry 4.0 opravdu revolucí?* [online]. In: . 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.stech.cz/Portals/0/Konference/2015/03%20Industry/PDF/01\\_marik.pdf](http://www.stech.cz/Portals/0/Konference/2015/03%20Industry/PDF/01_marik.pdf)
14. *Theorem: Industry 4.0, Digital Twin and IoT* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.theorem.com/Digital-Realities/Using-Augmented-or-Mixed-Reality-enables-you-to-visualize-a-digital-twin.htm>

15. *Journal of Innovation Management: The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems* [online]. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://journals.fe.up.pt/index.php/IJMAI/article/view/249/145>
16. MAŘÍK, Vladimír. *NÁRODNÍ INICIATIVA PRŮMYSL 4.0* [online]. 3. 2. 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://kzps.cz/wp-content/uploads/2016/02/kzps-cr.pdf>
17. *Wikipedia: Real-time computing* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computing)
18. *Wiley: Service oriented architecture* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wics.8>
19. *Iot analytics: Will the industrial internet disrupt the smart factory of the future?* [online]. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/industrial-internet-disrupt-smart-factory/>
20. *Soběstačný: Průmysl 4.0 – Utopie?, ale kdeže* [online]. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://sobestacny.cz/prumysl-4-0-utopie-ale-kdeze/#more-550>
21. *Wikipedia: Cloud computing* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](https://cs.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing)
22. *Wikipedia: Google Drive* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Drive](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Drive)
23. *IOT portál: Kyberfyzikální systémy* [online]. 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/08/22/kyberfyzikalni-systemy/>
24. ORLÍKOVÁ, Soňa. *Inteligentní senzory* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2003/1/Orlikova.ppt>
25. *Inteligentní domy: Inteligentní senzory* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.inteligentni-dum.eu/inteligentni-senzory>
26. *Logistika: Bez chytré logistiky je Průmysl 4.0 jen prázdný pojem* [online]. 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65335360-bez-chytre-logistiky-je-prumysl-4-0-jen-prazdny-pojem>
27. *EMan: Rozšířená realita* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.eman.cz/sluzby/mobilni-aplikace-vyvoj/rozsirena-realita-augmented-reality/>
28. *Disruption: Disrupted Reality* [online]. 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://disruptionhub.com/disrupted-reality-11-amazing-real-life-uses-augmented-reality/>
29. *Wikipedie: Samořízené motorové vozidlo* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Samo%C5%99%C3%ADzen%C3%A9\\_motorov%C3%A9\\_vozidlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Samo%C5%99%C3%ADzen%C3%A9_motorov%C3%A9_vozidlo)
30. *Systém on line: Autonomní vozidla jsou budoucností logistiky* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/it-pro-logistiku/autonomni-vozidla-jsou-budoucnosti-logistiky.htm>

31. *Wikipedia: Smart products* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_products](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_products)
32. HODEK, Josef. *Aditivní technologie* [online]. 21. 6. 2013 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://ctps.eu/wp-content/uploads/2018/01/aditivni-technologie.pdf>
33. *3D PI: The Free Beginner's Guide* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#01-basics>
34. *3D: 3 D tisk* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/>
35. *PK model: Technologie 3D tisku* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
36. *Euro: Dům z tiskárny* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/dum-z-tiskarny-americky-startup-ho-postavi-za-24-hodin-1334512>
37. *Wikipedie: Robotika* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Robotika>
38. GROHMANN, Jan. *Armádní noviny: Mariňáci testují roboty na Havajských ostrovech* [online]. 7. 8. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.armadinoviny.cz/marinaci-testuji-roboty-na-havajskych-ostrovech.html>
39. *Ceitec: Pokročilé materiály* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.ceitec.cz/pokrocile-materialy/rp4>
40. Echa: Nanomateriály. *Ceitec: Pokročilé materiály* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/regulations/nanomaterials>
41. Týden: Výroba nanovláken. *Ceitec: Pokročilé materiály* [online]. 2007 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/ve-vyrobe-nanovlaken-je-ceska-firma-svetovou-jednickou\\_10582.html](https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/ve-vyrobe-nanovlaken-je-ceska-firma-svetovou-jednickou_10582.html)
42. *Inteligentní budovy: Vyzkoušejte si chytré bydlení budoucnosti osobně!* [online]. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://inbudovy.cz/artikul/article/vyzkousejte-si-chytre-bydleni-budoucnosti-osobne/>
43. *Loxone: Chytrý dům* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/>
44. *Vypínač: Inteligentní domácnost* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/>
45. *Loxone: Chytré bydlení a klimatizace* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/topeni-klimatizace/>
46. *Ušetřeno: Jak vybrat elektrokotel* [online]. 2014 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/jak-vybrat-elektrokotel/>
47. *Info bydlení: Elektrické vytápění* [online]. 2009 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.infobydleni.cz/news/vytapeni-elektricke-princip-a-vyuziti/>

48. *Svět bydlení: Je výhodnější elektrický nebo plynový kotel?* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.svet-bydleni.cz/je-vyhodnejsi-plynovy-nebo-elektricky-kotel-poradime-vam-na-co-si-dat-pozor>
49. *Thermona: Pokojové termostaty* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/regulace/pokojove-termostaty>
50. *Elektrobock: Termostat s GSM* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektrobock.cz/termostat-s-gsm-modulem/p237>
51. *Elektrina: Jak vybrat vhodný elektrokotel* [online]. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-vybrat-vhodny-elektrokotel>
52. *Topení: Mora* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/mora-top-electra-24-komfort-p9058/#gallery>
53. *Brano Moravia: Elektrokotel* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://branomoravia.brano.eu/uploaded/dokumenty\\_moravia/ek\\_komfort/ek\\_komfort\\_161004.pdf](http://branomoravia.brano.eu/uploaded/dokumenty_moravia/ek_komfort/ek_komfort_161004.pdf)
54. *Dřevostavitel: Kolik stojí elektřina* [online]. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/jaka-je-cena-kwh>
55. *Nazeleno: Kdy se vyplatí elektrokotel* [online]. 30. 11. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/kdy-se-vyplati-elektrokotel-pet-situaci-kdy-je-mozne-uvazovat-o-vytapeni-kotlem-na-elektřinu.aspx>
56. *Topení: Plynové kotle* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-plynove.php>
57. *Info bydlení: Vytápění plynem* [online]. 2014 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.infobydleni.cz/news/vytapeni-plynem-princip-a-vyuziti/>
58. *Technické zabezpečení staveb: Plynové kotle* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/12.html>
59. *Stavím bydlím: Který plynový kotel zvolit – konvenční, nebo kondenzační?* [online]. 16. 10. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/ktery-plynovy-kotel-zvolit-konvencni-nebo-kondenzacni/>
60. PONCAROVÁ, Jana. *Peníze: Klasické plynové kotle končí* [online]. 21. 7. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.penize.cz/spotrebitel/302135-klasicke-plynove-kotle-konci-od-zari-poridite-uz-jen-kondenzacni>
61. *Zboží: Protherm Panther* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.zbozi.cz/vyrobek/protherm-panther-condens-25-kko-a/?utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=produkt\\_kotle&utm\\_source=adwords&utm\\_content=9390c97c85-protherm-panther-condens-25-kko-a&ppcbee-adtect-variant=adtect-s-cenou&gclid=Cj0KCQjwz7rXBRD9ARIsABfB1806buDeY3NMBKAsDFsrbiWjxbvh7qVNaIj8Oi5vrsRSonxGnkNs2wgaAr0EEALw\\_wcB](https://www.zbozi.cz/vyrobek/protherm-panther-condens-25-kko-a/?utm_medium=cpc&utm_campaign=produkt_kotle&utm_source=adwords&utm_content=9390c97c85-protherm-panther-condens-25-kko-a&ppcbee-adtect-variant=adtect-s-cenou&gclid=Cj0KCQjwz7rXBRD9ARIsABfB1806buDeY3NMBKAsDFsrbiWjxbvh7qVNaIj8Oi5vrsRSonxGnkNs2wgaAr0EEALw_wcB)
62. *Topení: Protherm Medvěd* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-solarni-ohrev.cz/produkt/protherm-medved-condens-25-kks-kondenzacni-plynovy-kotel/?produktId=11595>

63. *Energie 123: Cena plynu* [online]. 15.5. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/plyn/ceny-plynu/cena-1-m3/>
64. *Kalkulátor energií* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek#sekce-zemni-plyn>
65. *Info bydlení: Tepelná čerpadla* [online]. 4. 5. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.infobydleni.cz/news/tepelna-cerpadla-princip-a-vyuziti/>
66. *Topení: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla.php>
67. *Stiebel: Tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne\\_zdrojeenergie/tepelne\\_cerpadlo.html](https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/tepelne_cerpadlo.html)
68. *Dimplex: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.dimplex.cz/produkty/tepelna-cerpadla/>
69. VESELÁ, Zuzana. *Energoportal: Návratnost tepelného čerpadla* [online]. 16. 12. 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.energoportal.cz/magazin/pr-clanky/jak-rychle-se-vrati-investice-do-tepelneho-cerpadla.html>
70. *Dotace: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.ac-heating.cz/dotace/?gclid=CjwKCAjwlcXXBRBhEiwApfHGTVLzYXZoWyxdHp228wRsCbDokQWXT8f-AI\\_5R2f6Oxrc4Pyl1cktRoCHQ8QAvD\\_BwE](https://www.ac-heating.cz/dotace/?gclid=CjwKCAjwlcXXBRBhEiwApfHGTVLzYXZoWyxdHp228wRsCbDokQWXT8f-AI_5R2f6Oxrc4Pyl1cktRoCHQ8QAvD_BwE)
71. *Teplo technika: Funkce tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://teplotechnika.cz/funkce-tepelneho-cerpadla>
72. *Master Energy: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.masterenergy.cz/tepelna-cerpadla>
73. *Abeceda čerpadel: Topný faktor* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
74. *E.ON: Jaká je adekvátní cena tepelného čerpadla?* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/tepelne-cerpadlo-cena>
75. *Inteligentní budovy*. 2015, (1).
76. *Vypínač: Inteligentní domácnost* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.vypinac.cz/#!/bydlete-chytre/inteligentni-domacnost>
77. *Loxone: Skutečně chytrá domácnost* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/>
78. *Fab: Fab Entr* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.fab.cz/ENTR?gclid=Cj0KCQiAsK7RBRDzARIsAM2pTZ\\_-nF-6OILHp\\_wBcv3sFf5Aa6PkDdSRRSvXe6A19qHZecVL-w5PCkgaAiUIEALw\\_wcB](http://www.fab.cz/ENTR?gclid=Cj0KCQiAsK7RBRDzARIsAM2pTZ_-nF-6OILHp_wBcv3sFf5Aa6PkDdSRRSvXe6A19qHZecVL-w5PCkgaAiUIEALw_wcB)
79. *Wikipedie: Inteligentní dům* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Inteligentn%C3%AD\\_d%C5%AFm](https://cs.wikipedia.org/wiki/Inteligentn%C3%AD_d%C5%AFm)

80. *Loxone: Chytrá domácnost Smart Home* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/LoxoneVideoCZ>
81. *Loxone: Miniserver* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/produkty/miniserver-extensions/>
82. *E-větrání: Větrání* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.e-vetrani.cz/>
83. *Chytrá instalace: Chytré spotřebiče* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.chytrainstalace.cz/blog/inteligentni-dum-spotrebice/>
84. *Alza: Chytrý vysavač* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/search.htm?exps=chytr%C3%BD%20vysava%C4%8D>
85. *Chytrá vrata* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.chytravrata.cz/>
86. *Dům a zahrada: ZAHRADNIČENÍ BUDOUCNOSTI: ZÁVLAHA NA DÁLKU PŘES CHYTRÝ TELEFON* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.dumazahrada.cz/zahrada/technika/24413-zahradniceni-budoucnosti-zavlaha-na-dalku-pres-chytry-telefon/>
87. *Robotické sekačky: Sekačka Gardena* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://roboticke-sekacky-opava.cz/sekacky-gardena>
88. *Malé větrné elektrárny: Větrná elektrárna* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu/ap1200/>
89. BEZOUŠKA, Martin. *Bakalářská práce*. Plzeň, 2015. ZČU.
90. VOJÁČEK, Antonín. *Automatizace: Větrné elektrárny* [online]. 29. 10. 2006 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006102901>
91. *O Energetice* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/>
92. *Solární experti: Jak funguje střešní fotovoltaická elektrárna?* [online]. 25. 2. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>
93. *Solidsun: Fotovoltaická elektrárna* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.solidsun.cz/pro-rodinne-domy/fotovoltaicke-elektrarny-na-klic-pro-rodinne-domy-s-dotaci-nova-zelena-usporam>
94. BUDÍN, Jan. *O energetice: Technologický plán akumulace energie (elektrické a tepelné)* [online]. 6. 5. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/technologicky-plan-v-oblasti-akumulace-energie/>
95. *EnergyCloud: Domácí baterie* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.energycloud.cz/>
96. HOŘČÍK, Jan. *Hybrid: Tesla Powerwall* [online]. 1. 5. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [Tesla Powerwallwww.hybrid.cz/tesla-predstavila-domaci-baterie-powerwall](http://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-domaci-baterie-powerwall)
97. *Energie a energetika: Přibývají bateriové sklady energie* [online]. leden 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.solarglobal.cz/upload/media/153.pdf>



98. PLACHTA, Ladislav. *Domácí vodárna: Domácí vodárna – informace pro její výběr, nebo sestavení* [online]. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/se20-account-data/727/media/%C4%8Cerpada%20d%C5%AFm%20a%20zahrada/e-book-domaci-vodarna.pdf>
99. *Domácí vodárna* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://vodarna-domaci.cz/>
100. *Gusto energy: SCHOPPER raptor 1500* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://energeticke-zdroje.cz/vetrna-energie/domaci-vetrna-elektrarna-exkluzivni-rada/vetrna-turbina-domaci-elektrarna/elektrarna-1500W>
101. HANSLIAN, David. *Tbzinfo: Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem* [online]. 15. 4. 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>
102. OSIČKA, Aleš. *Bakalářská práce*. Brno, 2010. VUT.
103. RYCHETNÍK, V., PAVELKA, J. a JANOUŠEK, J. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
104. *Tbzinfo: Výše výkupních cen a zelených bonusů* [online]. 25. 9. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>
105. *Tbzinfo: Tabulky a výpočty* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/100-zakladni-udaje-pro-vyuzivani-slunecni-energie>
106. *I4wifi: Solární panel* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/Solarni-panely-1/Solarni-panely/Solarni-panel-GWL-Sunny-Poly-320Wp-72-cells-MPPT-35V-EUFREE.html>
107. *Wikipedia: Sluneční energie* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_energie](https://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie)
108. *Sigma: Domácí vodárna* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/domaci-vodarny/vodarna-sigma-darling-konta-200-2-mu>

## Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum: ..... ..

podpis diplomanta

Uživatel stvrzuje svým podpisem, že tuto diplomovou práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

<u>Jméno</u>	<u>Fakulta/katedra</u>	<u>Datum</u>	<u>Podpis</u>