

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



**VYUŽITÍ SMART
METERINGU PRO
PREDIKCI SPOTŘEBY V
RÁMCI DANÉHO REGIONU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LEDEN 2024

**ČENĚK
MALÍK**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Malík** Jméno: **Čeněk** Osobní číslo: **483552**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh a zhodnocení možností využití chytrého měření implementovaného v daném regionu

Název diplomové práce anglicky:

Design and evaluation of the potential use of smart metering implemented in a given region

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše konceptů, technologie a využití inteligentních sítí a chytrého měření.
- 2) Zhodnocení současného stavu rozvoje chytrého měření v Evropě.
- 3) Vypracování predikce spotřeby elektrické energie různými metodami na základě dat z pilotního projektu chytrého měření v daném regionu.
- 4) Porovnání výsledků a věrohodnosti použitých metod za daných okrajových podmínek.

Seznam doporučené literatury:

- 1) EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report. [online]. Publications Office of the EU, 2020. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z [www: https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070](https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070)
- 2) GARLÍK, Bohumír. Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9.
- 3) MOMOH, James A. Smart grid: fundamentals of design and analysis. Hoboken: Wiley, c2012. IEEE Press series on power engineering. ISBN 978-0-470-88939-8.
- 4) SEVEN, The Energy Efficiency Center, z.ú., Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z [www: https://wwwprod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele](https://wwwprod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Glac PREdistribuce, a.s.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.02.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **16.02.2025**

Ing. Pavel Glac
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu, Ing. Pavlovi Glacovi ze společnosti PREDistribuce, a. s., za jeho čas a odborné konzultace, které mi při vypracování této diplomové práce poskytl. Zároveň děkuji společnosti PREDistribuce, a. s., za poskytnutí dat pro použití v rámci této práce. Dále děkuji panu Ing. Mgr. Vítu Kleinovi, Ph.D., za odborné konzultace a vedení práce v její počáteční fázi.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 4. ledna 2024

.....

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje problematice predikce spotřeby elektrické energie s pomocí dat z chytrých elektroměrů. Pro vytvoření teoretického rámce uvádí popis konceptů, které jsou s chytrým měřením spojeny, jako je např. AMM, AMI a Smart Grids. Dále popisuje současný stav rozvoje chytrého měření v ČR a v Evropě s pomocí příkladů několika vybraných zemí. Praktický příklad predikce z dat z chytrých elektroměrů je proveden s pomocí strojového učení, a to s pomocí dopředně orientované umělé neuronové sítě. Pro porovnání je dále použita predikce vytvořená s pomocí veřejně dostupných koeficientů TDD. Navržená metoda ANN dosahuje lepších výsledků než metoda využívající TDD, ač je rozdíl poměrně malý. Dále práce studuje několik implementačních scénářů pro osazování odběrných míst chytrými elektroměry a dochází k závěru doporučené osazovací strategie.

Klíčová slova: ANN, AMM, chytré elektroměry, smart metering, smart grids, TDD, predikce spotřeby

ABSTRACT

This thesis focuses on the topic of electric energy consumption prediction using data gathered from smart meters. In order to create a theoretical framework for the topic, the thesis contains a description of several concepts connected with smart metering, e. g. AMM, AMI and Smart Grids. Additionally, it describes the current state of smart metering roll-out in Czechia and Europe using examples from selected countries. The actual prediction from Smart Meter data is computed using machine learning, specifically a feed-forward neural network. For comparison, a prediction made using publicly available load profiles coefficients is used. The designed ANN method achieves better results than the load profiles method, although the difference is relatively small. Further, the thesis studies a selected number of implementation scenarios for installing smart meters at consumption points and comes to a conclusion of a recommended smart meter fitting strategy.

Keywords: ANN, AMM, smart meters, smart metering, smart grids, load profiles, consumption prediction

OBSAH

ÚVOD	1
KAPITOLA 1: CHYTRÉ MĚŘENÍ V KONTEXTU CHYTRÝCH SÍTÍ (<i>SMART GRIDS</i>)	2
1.1 DEFINICE CHYTRÝCH SÍTÍ A CHYTRÉHO MĚŘENÍ	2
1.1.1 Účel a použití Smart Meteringu.....	4
1.1.2 Problémy a rizika rozvoje chytrých sítí.....	6
1.2 TECHNOLOGIE A KONCEPTY PRO IMPLEMENTACI CHYTRÉHO MĚŘENÍ	9
1.2.1 Pokročilá infrastruktura měření (<i>Advanced Metering Infrastructure, AMI</i>).....	9
1.2.2 Chytré elektroměry (<i>Smart Meter</i>).....	12
1.3 PŘÍKLADY UŽITÍ DAT CHYTRÉHO MĚŘENÍ	14
1.3.1 Základní příklady užití chytrého měření.....	14
1.3.2 Použití strojového učení v kontextu chytrého měření	17
KAPITOLA 2: ROZVOJ CHYTRÉHO MĚŘENÍ V ČR A V EVROPĚ	24
2.1 SHRUTÍ SOUČASNÉHO STAVU V RÁMCI EVROPY	24
2.1.1 Jednotný postup EU.....	25
2.1.2 Stav ve členských státech	25
2.2 AKTUALIZACE STAVU PRO VZOREK VYBRANÝCH ZEMÍ	28
2.2.1 Nizozemsko	28
2.2.2 Německo	30
2.2.3 Itálie.....	31
2.2.4 Spojené království Velké Británie a Severního Irska	31
2.2.5 Španělsko	33
2.2.6 Švédsko	33
2.2.7 Rakousko	34
2.2.8 Shrnutí současného stavu rozvoje chytrého měření v Evropě na základě posuzovaného vzorku zemí.....	36
2.3 AKTUALIZACE PRO ČR	37
2.3.1 Aktualizovaný národní akční plán pro Smart Grids a plánovaný rozvoj AMM v ČR	37
2.3.2 Zavádění chytrého měření v ČR.....	38
2.3.3 Technologické parametry chytrých elektroměrů zaváděných v ČR.....	39
KAPITOLA 3: VÝPOČET PREDIKCE PRO DANÝ REGION	41
3.1 POPIS PROBLÉMU	41
3.1.1 Vstupní data	41
3.1.2 Charakterizace OM	42
3.2 METODA PREDIKCE S POMOCÍ MĚLKÉ SÍTĚ	43

3.2.1	Teoretický úvod	43
3.2.2	Popis použití metody	46
3.2.3	Popis vypracování metody	49
3.3	VÝSLEDKY PREDIKCE S POMOCÍ ANN	53
3.3.1	Základní („krajní“) scénáře	53
3.3.2	Volba a zpracování „meziscénářů“	57
3.4	METODA VYPRACOVÁNÍ S POMOCÍ TDD.....	63
3.4.1	Výsledky predikce s pomocí TDD	64
KAPITOLA 4: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ A VĚROHODNOSTI POUŽITÝCH METOD		66
4.1	PŘESNOST METODY ANN.....	66
4.2	PŘESNOST METODY TDD	66
4.3	POROVNÁNÍ METODY ANN A METODY TDD	67
4.4	VLIV OKRAJOVÝCH PODMÍNEK NA METODU ANN.....	67
4.4.1	Vliv podílu „osazených“ OM	67
4.4.2	Vliv dalších kmenových dat OM	68
4.4.3	Vliv charakteru OM.....	70
4.5	VLIV OKRAJOVÝCH PODMÍNEK NA METODU TDD.....	71
4.6	ZÍSKANÉ INFORMACE A DALŠÍ MOŽNÝ POSTUP	71
4.6.1	Získané informace	71
4.6.2	Další možné navazující postupy	72
ZÁVĚR.....		73
LITERATURA.....		I
PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK		VII
A.1	SEZNAM SYMBOLŮ.....	VII
A.2	SEZNAM ZKRATEK.....	VII
PŘÍLOHA B: VÝPOČETNÍ A DATOVÉ SOUBORY		X
B.1	VSTUPNÍ DATA.....	X
B.1.1	Vstupní data před úpravou	x
B.2	VÝPOČETNÍ SOUBORY	XI
B.2.1	Úprava dat.....	xi
B.2.2	Soubor modelování neuronové sítě.....	xi
B.3	VÝSTUPNÍ DATA	XII
B.3.1	Metoda ANN	xii
B.3.2	Metoda TDD.....	xii

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Příklad chytré sítě	3
Obr. 1-2 Aplikace chytrého měření	4
Obr. 1-3 Přehled komunikačních technologií použitelných v AMM, upraveno	11
Obr. 1-4 Minimální funkční požadavky inteligentního měřicího systém	13
Obr. 1-5 Označení rozhraní inteligentního měřicího systému v rámci EU	14
Obr. 2-1 Shrnutí vývoje legislativy od tzv. „třetího energetického balíčku“ do balíčku tzv. „Čistá energie pro všechny Evropany“	24
Obr. 2-2 Podíl OM osazených SM v Evropě pro rok 2018	26
Obr. 2-3 Stav SM v Evropě pro rok 2021	27
Obr. 2-4 Rozhraní SM používaná v Nizozemsku	29
Obr. 2-5 Příklad IHD společnosti SSE	32
Obr. 2-6 Přibližné rozložení působnosti některých PDS dle regionů v Rakousku	35
Obr. 3-1: Rozložení velikostí jističů v A pro poskytnutá OM	42
Obr. 3-2: Rozložení typů distribučních sazeb pro poskytnutá OM	42
Obr. 3-3: Model umělého neuronu	43
Obr. 3-4: Model jednoduché umělé neuronové sítě	44
Obr. 3-5: „Feed-forward Neural Network“ (vlevo) a „Cascading-forward Neural Network“ (vpravo)	45
Obr. 3-6: Ilustrace underfittingu (vlevo) a overfittingu (vpravo), čárkovaně vyznačen výsledek ANN trpící příslušným problémem při odhadování funkce modře vyznačených známých bodů	46
Obr. 3-7: Relační struktura vstupních souborů	51
Obr. 3-8: Relační struktura výstupních souborů	52
Obr. 3-9: Porovnání dvou základních (krajních) scénářů	53
Obr. 3-10: Výsledek predikce pro scénář OM s dvoutarifní sazbou a spotřebou větší než 6 MWh	55
Obr. 3-11: Výsledek predikce pro scénář všech OM	55
Obr. 3-12: Porovnání predikce v základní dvojici scénářů	56
Obr. 3-13: Porovnání podílů počtu OM a „známé“ roční spotřeby za rok 2019 pro jednotlivé scénáře	58
Obr. 3-14: Porovnání ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů	59
Obr. 3-15: Porovnání ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů v závislosti na podílu osazených OM	60
Obr. 3-16: Porovnání ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů v závislosti na podílu známé roční spotřeby za rok 2019	60
Obr. 3-17: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů	62
Obr. 3-18: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů v závislosti na podílu osazených OM	62
Obr. 3-19: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů v závislosti na podílu známé roční spotřeby za rok 2019	63
Obr. 3-20: Porovnání predikce vytvořené s pomocí TDD pro průměrný součtový výkon ve dni oproti změřenému průměrnému součtovému výkonu	65
Obr. 4-1: Srovnání výsledků s ohledem na rozdělení dle počtu fází „osazených“ OM	69
Obr. 4-2: Srovnání výsledků dle průměrného výkonu „osazených“ OM	69
Obr. 4-3: Srovnání výsledků dle podílu celkového výkonu OM, která jsou „osazena“	70
Obr. B-1: Vstupní data o spotřebě – příklad	x
Obr. B-2: Vstupní data v podobě kmenových dat – příklad	x
Obr. B-3: Vstupní data o ročních spotřebách – příklad	xi

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Chytré elektroměry uváděné společností EG.D.....	40
Tab. 3-1 Seznam vstupních souborů pro tvorbu učebního souboru	50
Tab. 3-2 Porovnání číselných parametrů základních scénářů.....	56
Tab. 3-3 Popis všech použitých scénářů.....	57
Tab. 3-4 Popis výsledků prvního běhu učení jednotlivých scénářů	59
Tab. 3-5 Popis výsledků deseti běhů učení jednotlivých scénářů.....	61
Tab. 3-6 Porovnání číselných parametrů predikce s pomocí metody TDD	64
Tab. 4-1 Porovnání číselných parametrů metody ANN a metody TDD	67

ÚVOD

Cílem této práce je zmapovat rozvíjející se problematiku chytrého měření v ČR a v EU. Toho bude dosaženo nejprve vytvořením teoretického rámce chytrých sítí, do kterého chytré měření zapadá. V práci budou popsány základní principy chytrých sítí, některé problémy, které musí jejich implementace adresovat a využití, které nasazení chytrého měření v rámci chytrých sítí může mít.

Podobně podstatné je i shrnutí současné úrovně technologických řešení, např. na úrovni komunikačních médií a zabezpečení přenosu dat. Z hlediska elektroenergetiky je také nutné zohlednit funkčnost chytrých elektroměrů na trhu s energiemi a možnosti zapojení do nových metod řízení sítě, jako je například tzv. *demand-side management*, tedy řízení sítě na straně poptávky po energii, které může být s chytrými elektroměry spojeno.

V rámci zhodnocení současného stavu je nutným cílem shrnout dostupné informace o již implementovaných řešeních a rozvoji chytrého měření v Evropě a v ČR. Toho bude docíleno s pomocí statistik EU (spojených s aktualizací rešerší) a také s pomocí výběru lokálních příkladů několika evropských zemích s různými implementačními strategiemi.

Praktickou ukázkou získaných informací bude vypracování modelu využití dat z chytrého měření pro predikci spotřeby na úrovni nízkého napětí. Pro vypracování budou využita data o spotřebě v letech 2019 a 2020, poskytnutá společností PREdistribuce, a. s., z rezidenční oblasti, ve které probíhal pilotní projekt nasazení chytrého měření. Na základě výsledků predikce by mělo být možné zaprvé demonstrovat užitečnost dat měřených s vysokou granularitou a zadruhé doporučit možný implementační scénář na základě informační hodnoty, kterou lze z dat extrahovat při různých mírách uvažovaného osazení chytrými elektroměry.

Pro vypracování predikce bude využito jak standardní metody využívající veřejně dostupné koeficienty typových diagramů dodávky (TDD), tak pokročilejších metod, např. používajících strojové učení a umělé neuronové sítě. Výsledkem práce bude srovnání vypracovaných metod a zhodnocení věrohodnosti navržené metody proti „kontrolní“ metodě využívající TDD. Výsledky budou uvedeny v kontextu okrajových podmínek, které jsou dány parametry posuzované oblasti a prvky implementační strategie chytrého měření v ČR (např. rozložení distribučních sazeb a průměrný instalovaný výkon odběrných míst).

Motivací práce je zejména ukázat vysokou informační hodnotu v chytrém měření, zpracovat implementační doporučení pro danou oblast a také demonstrovat implementaci a přesnost jednoduchých metod, které v sobě zahrnují prvky strojového učení.

V Praze dne 4. ledna 2024

Čeněk Malík

KAPITOLA 1: CHYTRÉ MĚŘENÍ V KONTEXTU CHYTRÝCH SÍTÍ (SMART GRIDS)

1.1 Definice chytrých sítí a chytrého měření

Pod pojmem *Smart Grids* (také chytré sítě, popř. zkratka SG) je zahrnuto větší množství technologií a konceptů, jejichž účelem je transformace současné elektroenergetiky do podoby, která lépe reflektuje současné a budoucí požadavky spotřeby, přenosu, distribuce a dodávky elektrické energie. Požadavky vznikají na základě několika skutečností, které vychází ze současné politiky Evropské unie¹ s ohledem na energetickou část současné „zelené“ politiky. Jedná se mimo jiné o následující skutečnosti:

- Rozvoj obnovitelných zdrojů energie (OZE) a jiných menších zdrojů (např. kogeneračních plynových elektráren, bioplynových stanic apod.) v decentralizované podobě na nižších napěťových úrovních sítě (tedy i na úrovni běžných spotřebitelů).
- Plánovaný rozvoj elektromobility, rozšíření počtu nabíjecích míst a v jejich napojení na současnou distribuční síť.
- Plánovaná transformace té části průmyslu, která jako základní energetickou surovinu používala plyn, na jiné zdroje energie.
- Vyšší požadavky na účinnost a řízení sítě (snižování tržních odchylek a optimalizace provozu).

Z těchto požadavků vyplývají parametry chytrých sítí, které nejčastěji zahrnují následující vlastnosti²:

- Správa sítě v reálném čase (resp. blízko reálnému času).
- Schopnost sebeobnovy v případě narušení určité části sítě (např. rozdělení na frekvenční „ostrovy“ apod.).
- Predikce stavu soustavy.
- Snadné připojování nových zdrojů do soustavy.
- Krátká reakční doba na neočekávané události a schopnost předcházet poruchovým stavům.
- Zabezpečení z hlediska hrozeb (zejména injekce falešných dat nebo napadení komunikačního systému).

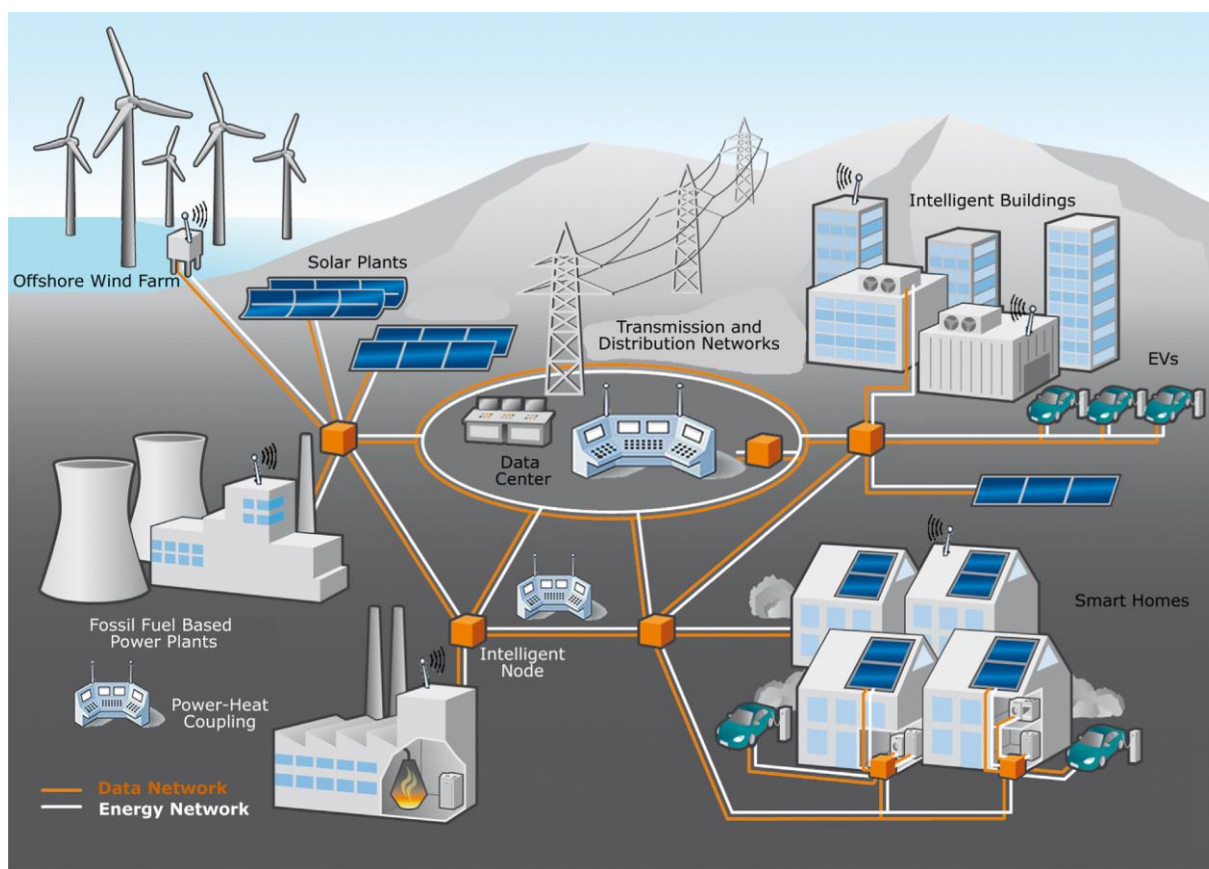
¹ RADA EU, webové stránky *Balíček „Fit for 55“* [online]. 2022 [cit. 2022-25-11]. Dostupné z [www: https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/](https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/)

² GARLÍK, Bohumír. *Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9.

Těchto vlastností lze dosáhnout pouze na základě velmi přesné znalosti současného stavu v dané soustavě. K tomu je třeba zavedení oboustranně komunikujícího a dálkově ovládaného systému čidel, který bude pro chytrou síť poskytovat informace. Tento systém čidel představuje tzv. *smart metering*, chytré měření. Nejčastěji je tímto pojmem chápáno měření na úrovni odběratele, tj. na úrovni nízkého napětí (NN).

Nejčastější definicí¹ chytrého měření je systém měření schopný oboustranné dálkové komunikace mezi elektroměrem a jeho provozovatelem, průběžného měření v intervalu v řádu minut (nejčastěji 15 minut) a dalších funkcionalit, jako je poskytování údajů o spotřebě zákazníkovi, umožnění implementace dynamických sazeb ceny elektřiny a schopnost odpojit odběrné místo na dálku při porušení podmínek dodávky elektrické energie.

Vizualizace chytré sítě, jejíž součástí jsou i chytré elektroměry, je uvedena na obrázku 1-1.



Obr. 1-1 Příklad chytré sítě²

¹ MOMOH, James A. *Smart grid: fundamentals of design and analysis*. Hoboken: Wiley, c2012. IEEE Press series on power engineering. ISBN 978-0-470-88939-8.

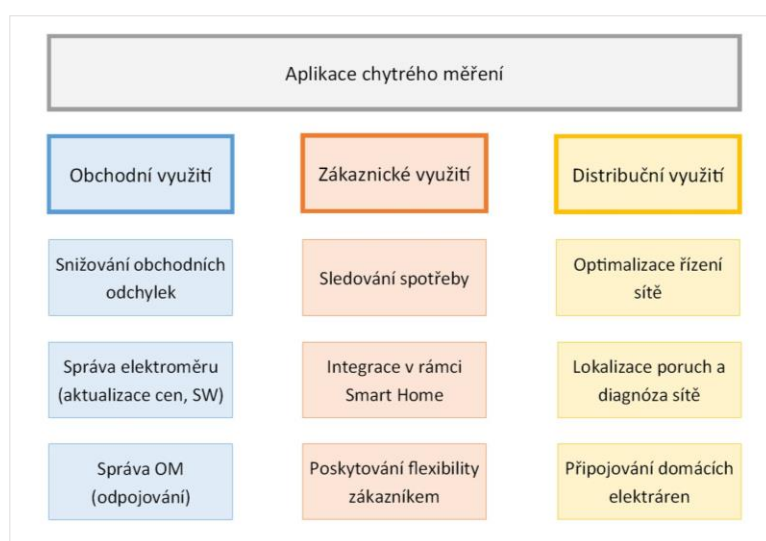
² KABALCI, Yasin. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, 57, 302-318 [cit. 2022-10-09]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.114. Str. č. 305.

Chytré sítě a také *smart metering* lze považovat za základní koncepty pro rozvoj budoucí energetiky, což je definováno například ve strategii Evropské unie jako prioritá¹ a v rámci ČR v podobě národního akčního plánu Smart Grids².

Chytré měření samo o sobě je podstatné pro další rozvoj elektroenergetiky, a proto je jeho rozvoj definován i v legislativě EU³.

1.1.1 Účel a použití Smart Meteringu

Hlavním cílem chytrého měření je poskytovat přesné a dostatečně rozsáhlé informace o sledované síti a zároveň umožnit tuto síť řídit v reálném čase. Aplikaci chytrého měření lze rozdělit do tří kategorií – obchodní, zákaznické a distribuční využití. Toto je znázorněno na obrázku 1-2 a dále rozvedeno v následujících podčástech.



Obr. 1-2 Aplikace chytrého měření⁴

1.1.1.1 Obchodní využití

V současném tržním prostředí je oddělena distribuce (kde lze předpokládat přirozený monopol) a dodávka elektrické energie (kde lze benefitovat z otevřeného trhu a konkurenčního prostředí). To znamená, že energie je nakupována na základě smlouvy ve jménu zákazníků obchodníky, se kterými mají uzavřenou smlouvu o dodávce. Dopředu však nelze přesně

¹ EVROPSKÁ UNIE. nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/869 ze dne 30. května 2022, kterým se stanoví hlavní směry pro transevropské energetické sítě, mění nařízení (ES) č. 715/2009, (EU) 2019/942 a (EU) 2019/943 a směrnice 2009/73/ES a (EU) 2019/944 a zrušuje nařízení (EU) č. 347/2013, In: Úřední věstník, L 152, 3. 6. 2022, s. 45–102. Dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022R0869>

² ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU. Národní akční plán pro chytré sítě 2019 – 2030, aktualizace NAP SG. Praha: Ministerstvo průmyslu, 2019. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z [www: https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm](https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm)

³ EVROPSKÁ UNIE. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU (přepřacované znění), In: Úřední věstník, L 158, 14. 6. 2019, s. 125–199. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

⁴ Vytvořeno na základě str. 97 ze zdroje: GARLÍK, Bohumír. Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9.

odhadnout, kdy a jakým způsobem bude energie odebírána. Vzhledem k tomu, že dodávka elektrické energie musí být vždy rovna výrobě, vzniká nutnost vznikající obchodní odchylky kompenzovat a zajistit výkonovou rovnováhu v soustavě. Za udržení rovnováhy zodpovídá společnost ČEPS, a. s., prostřednictvím podpůrných služeb (PpS), jejichž poskytování je nakupováno od soukromých subjektů (viz kodex PS)¹.

Na základě přesné znalosti aktuálního stavu sítě lze vypracovávat predikce, které umožňují snížit obchodní odchylky. Díky tomu klesají výdaje spojené s nákupem regulační energie (resp. pokutami za způsobenou odchylku).

Dále je díky chytrému měření na úrovni NN možné přesněji fakturovat elektřinu koncovému zákazníkovi a fakturace také nevyžaduje odečet elektroměru *on-site*. I tím se snižují výdaje, protože s použitím chytrého měření lze oboustranně komunikovat s odběrným místem (OM) a odečíst jeho spotřebu vzdáleně a automaticky, což snižuje nároky na personál a dopravu.

Dalším obchodním využitím je také snadná možnost odpojení OM v případě porušení smlouvy o dodávce elektrické energie (typicky neuhrazení poplatků) bez nutnosti přístupu k elektroměru.

Do kategorie obchodního využití spadá i jednodušší správa elektroměru zejména co se týče kontroly jeho stavu a správné funkce nebo aktualizace jeho softwaru (dále jen SW).

1.1.1.2 Zákaznické využití

Chytré měření poskytuje rozšířené možnosti i pro zákazníky, kteří mohou být lépe informováni o své vlastní spotřebě na základě připojení k systému chytrého měření. Díky tomu mohou například šetřit elektrickou energií nebo optimalizovat svou spotřebu podle ceny v případě, že mají uzavřenu smlouvu s cenou, která je v čase proměnlivá.

Moderní systém chytrého měření by také měl umožňovat zapojení elektroměru do systému tzv. chytré domácnosti (*Smart Home*), který obsahuje další měřící přístroje (plynoměr, vodoměr, termostat atd.) nebo inteligentní spotřebiče schopné automaticky řídit svůj provoz podle komunikace s měřícími prvky. Může se jednat například o chytré zásuvky spínající spotřebiče podle ceny elektřiny nebo podle výroby domácí elektrárny.

Součástí tohoto využití chytrého měření je i poskytování flexibility ze strany zákazníků (*demand-side management*), tedy úprava spotřebního chování na základě požadavků distribuční soustavy, např. za slevu na elektrickou energii nebo jiné zvýhodnění.

1.1.1.3 Distribuční využití

Do kategorie distribučního využití chytrého měření spadá použití chytrých sítí a chytrého měření pro lepší plnění technologických požadavků na provoz elektrické sítě.

¹ ČEPS, Kodex přenosové soustavy. [online]. 2022 (poslední revize). [cit 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

Například lze díky chytrému měření optimalizovat řízení soustavy. Průběhové měření i na nižších úrovních soustavy umožňuje rychleji identifikovat rizikové stavy a reagovat na ně před vznikem poruchy nebo umožňuje reakci ochran kvůli překročení nastavených limitů sledovaných veličin v lepším detailu, než je možné se současnými prvky.

V případě, že k poruše dojde, umožňuje chytré měření rychleji poruchu lokalizovat a izolovat. Jednou z funkcí chytrého měření, která v tomto ohledu může výrazně napomoci, je tzv. *Last Gasp Message*¹, volně přeloženo jako „zpráva posledního nádechu“, kdy prvky chytré sítě v momentě detekce poruchy (typicky výpadku napájení) odešlou varovnou zprávu před vypnutím, aby o možné poruše informovaly řídicí systém. Díky tomu může být také přesněji stanoven rozsah poruchy, která nastala v jiné části sítě.

Ekvivalentně je usnadněna i obnova sítě po poruchovém stavu (viz podobný princip *First Breath Message*, která informuje řízení soustavy o bezproblémovém obnovení dodávky). Zlepšováním spolehlivosti dodávky lze snižovat klíčové ukazatele SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) a SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), podle kterých jsou hodnoceni provozovatelé distribučních soustav².

Chytré měření také umožňuje snazší integraci rozptýlených (decentralizovaných) zdrojů elektrické energie (chytré elektroměry mohou měřit spotřebu čtyřkvadrantově, tj. sledovat přetoky domácích elektráren do sítě). Také s nimi lze lépe řídit síť (díky přesnější znalosti současného stavu lze např. snižovat ztráty a lépe optimalizovat využití klíčových prvků distribuční sítě, např. distribučních transformátorů).

1.1.2 Problémy a rizika rozvoje chytrých sítí

S využitím chytrého měření a rozvojem chytrých sítí jsou spojené i určité problémové faktory, jejichž adresování by mělo být součástí komplexní implementace *smart grids*³.

Na základě rešerše lze rozdělit očekávatelné problémy do tří kategorií:

- Výzvy v oblasti implementace
- Výzvy z hlediska elektroenergetického provozu
- Výzvy spojené s rovinou komunikační sítě

Toto dělení vychází z často diskutovaných témat v rámci problematiky plánovaného rozvoje chytrých sítí v rámci studované literatury.

¹ BAKKEN, David (ed.). *Smart grids: clouds, communications, open source, and automation*. CRC Press, 2014. Str. 403.

² ERÚ. Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/vyhlaska-o-kvalite-dodavek-elektřiny-souvisejicich-sluzeb-v-elektroenergetice>. ISSN 2336-517X.

³ GARLÍK, Bohumír. *Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9.

1.1.2.1 Výzvy v oblasti implementace¹

Zavedení chytrých sítí má společné rysy jako mnohé jiné rozsáhlé projekty, a tak se zde lze setkat i se společnými problémy. Těmi jsou problémy s plánováním a nemožnost predikce rozvoje infrastruktury (např. obtížnost predikce míry dalšího rozvoje domácích elektráren, které souvisí s rozvojem chytrého měření).

Dále se jedná o možný lokální odpor k zavádění chytrých sítí, který může být dán nedůvěrou veřejnosti a obavami ze ztráty soukromí. Vzhledem k tomu, že se v případě chytrých sítí jedná primárně o rozšíření a nadstavbu pro stávající síť, neměl by v tomto ohledu mít velký vliv tzv. NIMBY efekt („*Not In My Backyard*“ – odpor k novým projektům v blízkosti bydliště), ale může se vyskytnout, pokud se jedná například o výměnu elektroměru (zákazníci mohou mít odpor vůči novému zařízení, které „je zodpovědné“ za vyúčtování elektřiny místo pracovníka PDS, který by elektroměr odečítal)².

Specificky pro implementaci chytrých sítí je významný současný stav sítě, kde mají být *Smart Grids* zaváděny.³ Většina plánů pro implementaci chytrých sítí předpokládá již rozvinutou elektroenergetickou síť (jako je tomu např. v EU nebo v USA), avšak při rozvoji v méně rozvinutých oblastech (např. některé země Afriky, Indie, jihovýchodní Asie) vzniká problém současné implementace chytré sítě a rozvoje elektrizační soustavy. Implementace chytrých prvků může zpomalovat rozvoj elektrizační soustavy, a proto může být opomenuta ve prospěch rychlejšího rozvoje tradiční sítě. Dodatečná implementace chytré sítě je však v celkovém součtu finančně a časově náročnější než stavba elektrizační soustavy spolu s prvky chytré sítě najednou.

Jedním z výraznějších problémů je také nutnost použití zcela nových technologií, které chytré sítě vyžadují, a které nemusí být kompatibilní se současnou technologií používanou v elektrických stanicích. Typickým příkladem je nutnost instalace nového (chytrého) elektroměru do objektů většiny odběratelů na úrovni nízkého napětí a výběr technologie měření z široké nabídky tak, aby byla pro zákazníky použitelná a neomezovala jejich využití možností chytré sítě.

Většina z těchto problémů se projevuje zpomalením rozvoje a implementace chytrých sítí, což má za důsledek nárůst nákladů a riziko zastarání technologie brzy poté, co je instalována v plném rozsahu.

¹ MOMOH, James A. *Smart grid: fundamentals of design and analysis*. Hoboken: Wiley, c2012. IEEE Press series on power engineering. ISBN 978-0-470-88939-8. Str. 123

² RAIMI, Kaitlin T. a CARRICO, Amanda R. Understanding and beliefs about smart energy technology. Online. *Energy Research & Social Science*. 2016, roč. 12, s. 68-74. ISSN 22146296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.018>. [cit. 2023-10-12].

³ VINEETHA, C. P. a BABU, C. A. Smart grid challenges, issues and solutions. Online. In: *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*. IEEE, 2014, s. 1-4. ISBN 978-1-4673-6123-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IGBSG.2014.6835208>. [cit. 2023-10-12].

1.1.2.2 Výzvy z hlediska elektroenergetického provozu

V rámci implementace prvků chytrých sítí dochází k výrazné úpravě struktury soustavy. Jedná se zejména o implementaci pokročilých výpočetních a měřících možností, ale také o rozvoj decentralizované výroby elektrické energie. To může klást vysoké nároky na současnou soustavu, protože se jedná o převrácení současné podoby elektrické soustavy.¹

Jako možný problém lze uvést nárůst zkratového proudu na úrovni distribuční soustavy vlivem připojení decentralizovaných zdrojů. Dalším problémem může být vliv na elektrické ochrany s ohledem na jejich směrovou orientaci. Obrácení toku proudu může souviset i s využitím inteligentních prvků pro flexibilitu na straně poptávky spolu s chováním zákazníků ve stylu „prosumerů“ (tzv. *demand side management*). Flexibilita na straně poptávky může napomoci udržení rovnováhy, ale spolu s ostatními aspekty se zvyšují nároky na vedení v distribuční soustavě, potažmo na instalované distribuční transformátory

Většina z těchto problémů by měla být instalací inteligentních prvků řízení soustavy (jako jsou např. chytré elektroměry) spíše odlehčena. Může se jednat o kompenzaci problémů, které jiné prvky Smart Grids mohou přinést.

1.1.2.3 Výzvy spojené s rovinou komunikační sítě

Smart Grids spoléhají na dobře propojenou komunikační síť, která umožňuje předávání dat mezi spotřebiteli za účelem chytré správy sítě. Tato síť musí být zabezpečena. Data o spotřebě sbíraná v detailu řádově jednotek minut (např. 15minutové odečty) jsou citlivou informací, která prozrazuje detaily o chování zákazníka.

Kybernetická bezpečnost a zranitelnost nových systémů představuje jedno z hlavních rizik chytrých sítí. Aby bylo možné chránit zákazníky před napadením a zneužitím jejich informací, musí být všechny komunikační toky šifrovány (např. s pomocí koncového šifrování pro přenos dat nebo s využitím blokového řetězce, *blockchain*, pro zabezpečení údajů), což zvyšuje výpočetní náročnost a požadavky na vybavení prvků chytré sítě.

Digitální měření a přenos dat také mohou být zneužity pro injekci falešných údajů o spotřebě, např. s účelem skrytí neoprávněného odběru nebo poškození soustavy.

Čím je tedy systém inteligentnější, tím zranitelnějším se stává. V oblasti energetiky to může být ještě větším problémem kvůli jejímu významu na běžný chod života.

¹ GARLÍK, Bohumír. *Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9. Str. 103.

1.2 Technologie a koncepty pro implementaci chytrého měření

Poměrně široký koncept chytré sítě je v této práci zúžen hlavně na rovinu chytrého měření. Chytré měření lze rozdělit na fyzickou úroveň infrastruktury měření a na úroveň zpracování získaných dat a monitorování této infrastruktury.

1.2.1 Pokročilá infrastruktura měření (*Advanced Metering Infrastructure, AMI*)

Základním účelem fyzické „vrstvy“ je zejména měření relevantních veličin (v rámci chytré sítě se nemusí jednat pouze o elektrickou energii, ale také například o spotřebu plynu nebo jiné údaje). Neméně podstatný je i přenos naměřených údajů do datových center, kde mohou být tyto informace zpracovány a vyhodnoceny. Tento přenos by měl být co nejméně chybový a měl by zajišťovat dostatečnou informační propustnost. S ohledem na velký rozsah energetické sítě (a možných chytrých sítí všeobecně) je také nutné, aby se nejednalo o příliš finančně náročné technologie.

Tato fyzická vrstva je nazývána pokročilou infrastrukturou měření (aby jí bylo možné odlišit od měřicí infrastruktury, která neobsahuje komunikační prvky). Pokud v rámci této infrastruktury zahrneme také management těchto měřičů a vyhodnocení dat (které bude popsáno dále), lze mluvit o automatizovaném managementu měřičů (*automated meter management, AMM*). Někdy je také používán termín „chytré měření“ (z ang. *Smart Metering*) nebo „*Automated Metering Infrastructure, AMI*“¹.

Základním stavebním blokem AMI je chytrý elektroměr (*Smart Meter, SM*), kterému je věnována část 1.2.2. Další částí je komunikace, přes niž se tyto chytré elektroměry dorozumívají s datovým centrem, které jejich data agreguje.

Pro komunikaci v rámci AMI se používají bezdrátové a kabelové komunikační kanály, přičemž v budoucnu lze očekávat zejména rozvoj bezdrátových možností. Zpravidla se jedná o kombinaci více technologií dle potřeb daného sektoru AMI a dle vlastností dané technologie. Jednotlivé komunikační možnosti se liší zejména využitým principem přenosu, vzdáleností, na kterou lze přenášet data, a také teoretickou informační propustností². Definice teoretické informační propustnosti je uvedena v rovnici 1-1.

¹ ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU. Národní akční plán pro chytré sítě 2019 – 2030, aktualizace NAP SG. Praha: Ministerstvo průmyslu, 2019. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z [www: https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm](https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm)

² VODRÁŽKA, Jiří. Teoretická informační propustnost účastnických přípojek. Praha: ČVUT, 2001. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z [www: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01031/index.html#propustnost](http://www.elektrorevue.cz/clanky/01031/index.html#propustnost)

$$C_i = \int_0^B \log_2 \left(1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) df \quad (\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1-1)$$

kde:

B šířka pásma (Hz)

$S(f)$ spektrální hustota výkonu přijímaného signálu ($\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1}$)

$N(f)$ spektrální hustota výkonu šumu na vstupu přijímače ($\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1}$)

Teoretická informační propustnost C_i udává, jakou největší teoretickou rychlostí lze přenášet data testovaným způsobem. Reálná přenosová rychlost je nižší vlivem nutnosti zajištění dostatečné rezervy, aby bylo možné rozeznat signál od šumu. Ve vedení dochází dále k útlumu, čímž je ztracena část informace. Různé metody přenosu informací mají různé charakteristiky útlumu a různé informační propustnosti, z čehož mimo jiné vyplývá jejich odlišné možnosti uplatnění (spolu s náročností implementace a cenou).

Dále je uveden výběr některých kabelových technologií¹:

- PLC (*Power Line Communication*) – Komunikace po silovém vedení superpozicí informace na základní harmonickou (použití např. pro signál hromadného dálkového ovládání – HDO).
- DSL (*Digital Subscriber Line*) – Komunikace po účastnickém telefonním vedení.
- Optická vlákna – Komunikace používající optický signál, který je odolný proti rušení a má velkou informační propustnost.

Data mohou být přenášena i s pomocí sériové linky (např. standard RS-485) nebo jiných kabelových komunikačních standardů. Ze stejného zdroje lze doplnit i stručný výběr bezdrátových technologií:

- WPAN (*Wireless Personal Area Network*) – Komunikace v blízkém okolí (např. standard Bluetooth nebo standard ZigBee, který se používá ve spotřebičích tzv. „chytrých domácností“).
- Wi-Fi – Komunikace v širším okolí, která je velmi rozšířená pro bezdrátové internetové připojení.
- GSM – Komunikace v rámci pásem licencovaných mobilních sítí (jedná se např. o LTE, 2G až 5G)

Rozsáhlejší výčet obsahující také používané standardy a některé další možnosti komunikace je uveden na obrázku 1-3.

¹ KABALCI, Yasin. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, 57, 302-318 [cit. 2022-10-09]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.114

Tech.	Standards	Data rate	Distance	Network
Wireline technologies				
PLC	<ul style="list-style-type: none"> NB-PLC: ISO/IEC 14908-3, IEC 61334-3-1, IEC 61334-5 (FSK) BB-PLC: TIA-1113 (HomePlug 1.0), IEEE 1901, ITU-T G.hn (G.9960/G.9961) BB-PLC: HomePlug AV/Ext., PHY, HD-PLC 	<ul style="list-style-type: none"> NB-PLC: 1–10 kbps for low data rate PHYs, 10–500 kbps for high data-rate PHYs BB-PLC: 1–10 Mbps (up to 200 Mbps on very short distance) 	<ul style="list-style-type: none"> NB-PLC: 150 km or more BB-PLC: about 1.5 km 	<ul style="list-style-type: none"> NB-PLC: NAN, FAN, WAN, large scale BB-PLC: HAN, BAN, IAN, small scale AMI
Fiber optic	<ul style="list-style-type: none"> AON (IEEE 802.3ah) BPON (ITU-T G.983) GPON (ITU-T G.984) EPON (IEEE 802.3ah) 	<ul style="list-style-type: none"> AON: 100 Mbps up/down BPON: 155–622 Mbps GPON: 155–2448 Mbps up, 1.244–2.448 Gbps down EPON: 1 Gbps 	<ul style="list-style-type: none"> AON: up to 10 km BPON: up to 20–60 km EPON: up to 20 km 	<ul style="list-style-type: none"> WAN
DSL	<ul style="list-style-type: none"> ITU G.991.1 (HDSL) ITU G.992.1 (ADSL), ITU G.992.3 (ADSL2), ITU G.992.5 (ADSL2+) ITU G.993.1 (VDSL), ITU G.993.1 (VDSL2) 	<ul style="list-style-type: none"> ADSL: 8 Mbps down/1.3 Mbps up ADSL2: 12 Mbps down/3.5 Mbps up ADSL2+: 24 Mbps down/3.3 Mbps up VDSL: 52–85 Mbps down/16–85 Mbps up VDSL2: up to 200 Mbps down/up 	<ul style="list-style-type: none"> ADSL: up to 5 km ADSL2: up to 7 km ADSL2+: up to 7 km VDSL: up to 1.2 km VDSL2: 300 m–1.5 km 	<ul style="list-style-type: none"> AMI, NAN, FAN
Wireless technologies				
WPAN	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.15.4 ZigBee, ZigBee Pro, ISA 100.11a (IEEE 802.15.4) 	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.15.4: 256 kbps 	<ul style="list-style-type: none"> ZigBee: Up to 100 m ZigBee Pro: Up to 1600 m 	<ul style="list-style-type: none"> HAN, BAN, IAN, NAN, FAN, AMI
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11e IEEE 802.11n IEEE 802.11s IEEE 802.11p (WAVE) 	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11e/s: up to 54 Mbps IEEE 802.11n: up to 600 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11e/s/n: up to 300 m IEEE 802.11p: up to 1 km 	<ul style="list-style-type: none"> HAN, BAN, IAN, NAN, FAN, AMI
WiMAX	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.16 (fixed and mobile broadband wireless access) IEEE 802.16j (multi-hop relay) IEEE 802.16 m (air interface) 	<ul style="list-style-type: none"> 802.16: 128 Mbps down/28 Mbps up 802.16 m: 100 Mbps for mobile, 1 Gbps for fixed users 	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.16: 0–10 km IEEE 802.16 m: 0–5 (opt.), 5–30 acceptable, 30–100 km low 	<ul style="list-style-type: none"> NAN, FAN, WAN, AMI
GSM	<ul style="list-style-type: none"> 2G TDM, IS95 2.5G HSCSD, GPRS 3G UMTS (HSPA, HSPA+) 3.5G HSPA, CDMA EVDO 4G LTE, LTE-Advanced 	<ul style="list-style-type: none"> 2G: 14.4 kbps 2.5G: 144 kbps HSPA: 14.4 Mbps down/5.75 Mbps up HSPA+: 84 Mbps down/22 Mbps up LTE: 326 Mbps down/86 Mbps up LTE-Advanced: 1 Gbps /500 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> HSPA+: 0–5 km LTE-Advanced: optimum 0–5 km, acceptable 5–30, 30–100 km (reduced performance) 	<ul style="list-style-type: none"> HAN, BAN, IAN, NAN, FAN, AMI
Satellite	<ul style="list-style-type: none"> LEO: Iridium, Globalstar, MEO: New ICO GEO: Inmarsat, BGAN, Swift, MPDS 	<ul style="list-style-type: none"> Iridium: 2.4–28 kbps Inmarsat-B: 9.6 up to 128 kbps BGAN: up to 1 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> 100–6000 km 	<ul style="list-style-type: none"> WAN, AMI

Obr. 1-3 Přehled komunikačních technologií použitelných v AMM, upraveno¹

Výše uvedené technologie jsou běžně využívány, přičemž energetické společnosti a výrobci elektroměrů volí různé komunikační přístupy (viz více v kapitole 2).

V rámci AMM je také možné uvažovat o využití standardu Ethernet s protokolem TCP/IP, který je velmi rozšířený v rámci internetové sítě. Tento standard není uveden ve výše uvedeném výčtu, ale také by mohl nalézt aplikaci v AMM, i když zatím je zmiňován spíše na vědecké úrovni².

¹ KABALCI, Yasin. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, 57, 302-318 [cit. 2022-10-09]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.114

² DAS, Himshekhar a L.C. SAIKIA. Ethernet based smart energy meter for power quality monitoring and enhancement. In: *2017 Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 187-191 [cit. 2023-01-31]. ISBN 978-1-5090-3978-4. Dostupné z: doi:10.1109/RDCAPE.2017.8358264

1.2.2 Chytré elektroměry (Smart Meter)

Jak již bylo zmíněno, základním prvkem chytrého měření je chytrý elektroměr (*Smart Meter*, *SM*). Na SM jsou kladeny vyšší požadavky, které jsou nutné pro pokročilé řídicí metody používané v rámci AMM (nebo přesněji chytrých sítí obecně). Existuje více definic, ale vzhledem k návaznosti na kapitolu 2 bude použita definice užívaná v rámci EU¹, která definuje několik základních funkčních požadavků na inteligentní měřicí systémy pro elektřinu.

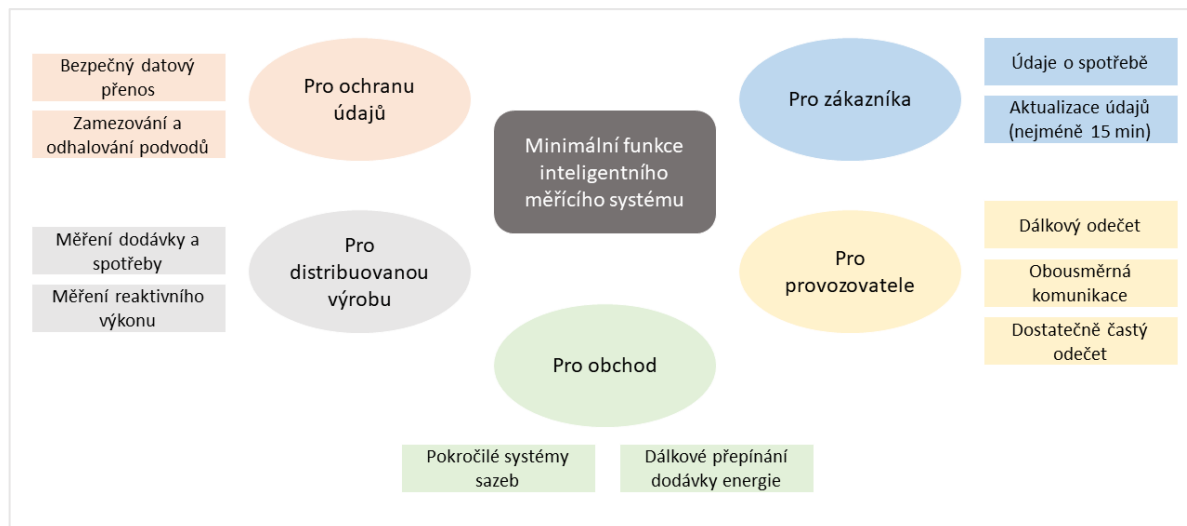
V doporučení Evropské komise ze dne 9. března 2012 o přípravách na zavedení inteligentních měřicích systémů² jsou minimální funkční požadavky inteligentního měřicího systému pro elektřinu (v kontextu této práce jde o chytrý elektroměr) definovány následujícím způsobem:

- Schopnost poskytnout zákazníkovi nebo jím určené třetí straně aktuální a přesné naměřené hodnoty.
- Schopnost aktualizovat naměřené údaje v dostatečně krátkém intervalu (doporučení uvádí nejméně každých 15 minut) a ukládat naměřené hodnoty po přiměřenou dobu.
- Možnost dálkového odečtu provozovatelem systému.
- Možnost obousměrné komunikace za účelem údržby a kontroly systému.
- Schopnost umožnit odečet dostatečně často, aby byly údaje použitelné pro správu sítě.
- Podpora pokročilých systémů sazeb (např. v českém prostředí nastavení tzv. dvoutarifových sazeb).
- Možnost dálkového zapínání, vypínání či omezení dodávky za účelem ochrany sítě a urychlení procesu připojení a odpojení odběrného místa.
- Zabezpečení datové komunikace po stránce ochrany soukromých údajů.
- Zabezpečení před informačními riziky a nebezpečím podvodů.
- Schopnost měření obousměrného toku výkonu (pro decentralizované zdroje) a schopnost reaktivního měření (tj. měření reaktivního výkonu).

Tyto parametry jsou schématicky shrnuty na obrázku č. 1-4, který byl vytvořen jako shrnutí výše uvedeného výčtu.

¹ SEVEN, The Energy Efficiency Center, z.ú., *Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR*. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z www: <https://www.prod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele>

² EVROPSKÁ KOMISE, Doporučení Komise ze dne 9. března 2012 o přípravách na zavedení inteligentních měřicích systémů. (2012). *Úřední věstník*, L 73, 9-22. Dostupné z www: <http://data.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj>



Obr. 1-4 Minimální funkční požadavky inteligentního měřicího systému¹

Vzhledem květší komunikační náročnosti inteligentního měřicího systému vzniká větší množství komunikačních cest, kterými jsou data předávána. U klasických elektroměrů bylo pouze jedno rozhraní pro odečet, popř. jedno servisní rozhraní, avšak s integrací obousměrné komunikace, s případnou možností bezdrátového připojení a se zapojením zákazníka je situace podstatně složitější. Z tohoto důvodu je v rámci EU definované značení komunikačních rozhraní, které je uvedeno na obrázku 1-5.

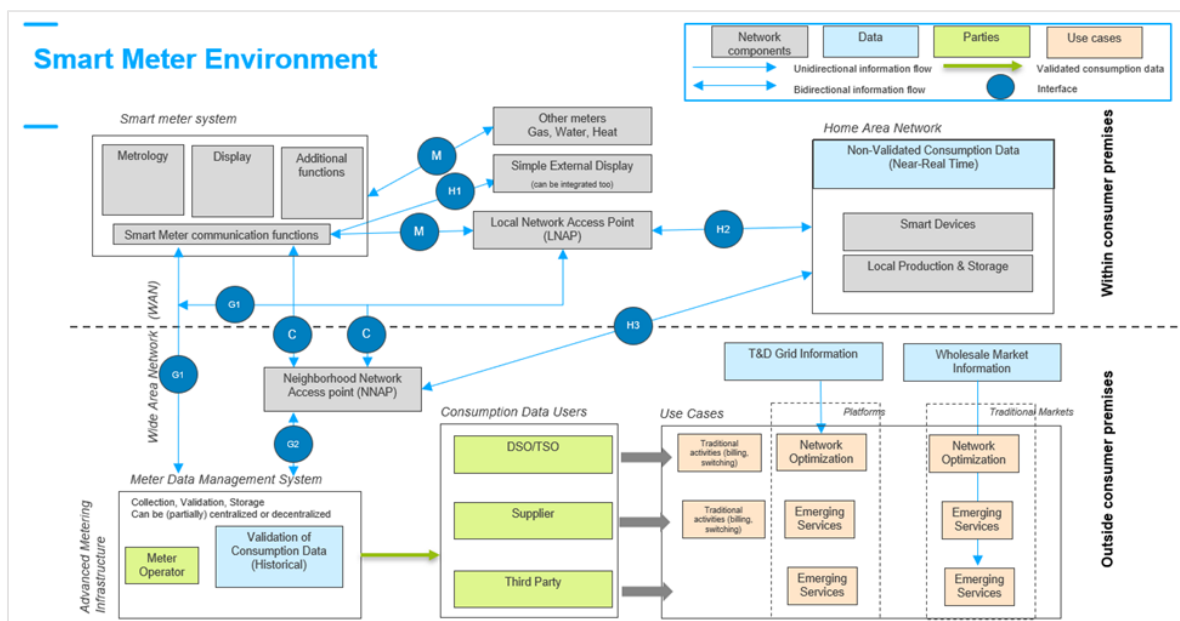
Pro spotřebitele jsou významné zejména dvě základní rozhraní², kterými může získávat informace o své spotřebě. Jedná se o:

- H1 Port umožňující jednosměrnou komunikaci,
- H2 Port umožňující obousměrnou komunikaci.

Zákazník má s pomocí rozhraní typu H k dispozici údaje o spotřebě v tzv. neověřené podobě, tedy data, která nebyla zkontrolována provozovatelem distribuční soustavy (PDS), ale která jsou poskytována blízko reálnému času.

¹ Zpracováno dle zdroje: EVROPSKÁ KOMISE, Doporučení Komise ze dne 9. března 2012 o přípravách na zavedení inteligentních měřicích systémů. (2012). *Úřední věstník*, L 73, 9-22. Dostupné z [www: http://data.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj](http://data.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj)

² EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, ALATON, C., TOUNQUET, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28: final report*, Publications Office, 2020. Dostupné z [www: https://data.europa.eu/doi/10.2833/](https://data.europa.eu/doi/10.2833/)



Obr. 1-5 Označení rozhraní inteligentního měřícího systému v rámci EU¹

V případě některých scénářů implementace jsou data z chytrých elektroměrů a případně z dalších sítí shromažďována s pomocí zařízení, např. tzv. „Smart Meter Gateway²“, která umožňují komunikaci s PDS (provozovatel distribuční soustavy) a případně s dalšími účastníky trhu pro lepší propojení sítě chytrých elektroměrů.

Pokud je v dané oblasti větší množství typů nasazovaných chytrých elektroměrů, může vzniknout problém s lokálním odečtem dat, kdy každý typ chytrého elektroměru může používat vlastní systém. To může omezit možnosti připojení zařízení třetích stran pro správu zákaznickovy spotřeby. Někdy je tedy chytrý elektroměr rozšířen o tzv. „Smart Meter Adapter³“, který vytváří sjednocené rozhraní a může pomáhat s rozvojem technologií, které jsou na chytrých elektroměrech založeny.

1.3 Příklady užití dat chytrého měření

1.3.1 Základní příklady užití chytrého měření

V částech 1.1 a 1.2 byl uveden základní rozbor užití chytrého měření, přičemž tato užití budou dále konkretizována s pomocí rozsáhlejšího popisu a příkladů.

¹ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, ALATON, C., TOUNQUET, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28: final report*, Publications Office, 2020. Dostupné z [www: https://data.europa.eu/doi/10.2833/](https://data.europa.eu/doi/10.2833/). Obrázek převzat ze str. 97.

² BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK, *Smart Meter Gateway*, webové stránky [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z [www: https://www.bsi.bund.de/EN/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/smart-meter-gateway_node.html](https://www.bsi.bund.de/EN/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/smart-meter-gateway_node.html)

³ ÖSTERREICHS E-WIRTSCHAFT, *Smart Meter-Adapter*, webové stránky, [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z [www: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf](https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf)

1.3.1.1 Poskytování dat zákazníkovi a třetím stranám

Z hlediska benefitů pro zákazníka je hlavním důvodem pro zavádění chytrého měření možnost rozvoje chytrých domácností, které s daty z elektroměrů operují. Tento příklad užití má dvě podoby.

„Základní“ podobou je poskytnutí dat zákazníkovi skrze rozhraní (např. webový portál nebo aplikace¹, popř. IHD, *In-Home Display*²). Zákazník díky rozhraní vidí svou spotřebu elektrické energie blízko reálnému času, dále může mít k dispozici také informace o aktuální ceně elektřiny či aktivním tarifu v případě dynamické sazby ceny elektřiny. V případě systémů fungujících na principu „top-up“ (tj. energie na předem zaplacený „kredit“) může rozhraní obsahovat i informaci, kolik energie je předplaceno. Pokročilejší rozhraní (např. webové portály nebo mobilní aplikace, které nejsou omezené výpočetními možnostmi příručního dedikovaného zařízení jako je IHD) mohou také obsahovat uložená data z minulosti, sekce správy výroben (pokud je instalována místní výrobní elektřina) či integrovaná data z dalších měřičů.

Zařízení jako je IHD nebo online prostředí od PDS zpravidla nelze více konfigurovat a rozšířit o prvky řízení spotřeby. Hlavním benefitem se stává primárně informace předaná zákazníkovi a případně jeho následná úprava chování.

„Pokročilejší“ podobou je poskytnutí dat třetí straně, která má od zákazníka svolení data z měřicího zařízení získat a následně je dále zpracovává či používá pro optimalizaci provozu domácnosti. Příkladem může být aplikace³ kombinující správu chytrých zásuvek či ovládající spotřebiče s bezdrátovým připojením.

1.3.1.2 Vzdálený odečet a správa elektroměrů

Z technického hlediska je významná možnost dálkové správy elektroměru, což se může projevit snížením personálních požadavků na manuální odečty pro fakturaci. Provozovatel má díky vzdálenému odečtu k dispozici změřená data blízko reálnému času, přičemž chytré elektroměry mohou také měřit a na dálku odesílat další relevantní údaje, jako je například velikost napětí a proudu v jednotlivých měřených fázích v průběhu času, množství dodávané energie do sítě z domácí výroby nebo velikost reaktivního výkonu.

Na úrovni elektroměrů je teoreticky možné i základní vyhodnocování některých zajímavých parametrů. S ohledem na miniaturizaci elektroniky je určující spíše komunikační propustnost použitého kanálu pro přenos dat než náročnost operací (i když s lepšími výpočetními

¹ Příklad: E.ON UK PLC. Informační webové stránky aplikace E.ON Home. [online]. 2023. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z [www: https://www.eonenergy.com/energy-management.html](https://www.eonenergy.com/energy-management.html)

² Příklad: EDF ENERGY CUSTOMERS LTD. Informační leták „Smarter Living“. [online]. 2020. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z [www: https://www.edfenergy.com/sites/default/files/r1201_chameleon_3_and_geo_trio_one_guide_booklet_2020.pdf](https://www.edfenergy.com/sites/default/files/r1201_chameleon_3_and_geo_trio_one_guide_booklet_2020.pdf)

³ Příklad: BUSSINESS WIRE, INC. „Powerley Unveils Energy-Driven Smart Home Experience“. [online]. 2017. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z [www: https://www.businesswire.com/news/home/20170131006068/en/Powerley-Unveils-Energy-Driven-Smart-Home-Experience](https://www.businesswire.com/news/home/20170131006068/en/Powerley-Unveils-Energy-Driven-Smart-Home-Experience)

schopnostmi se zvyšuje cena zařízení). Elektroměr může provádět operace na úrovni minutových nebo sekundových hodnot, ze kterých lze vyvodit i některé specifické vlastnosti spotřeby (například automaticky detekovat spouštění určitých spotřebičů, které lze z dostatečně granulovaného měření charakterizovat), které potom může elektroměr odesílat v podobě příznaků s menší přenosovou náročností, než jakou mají měřené hodnoty s vysokou granularitou.

Pro příklad, s použitím vzorkovací frekvence 0,1 Hz (tj. 10 s) lze rozlišit spuštění spotřebičů, jako je rychlovarná konvice, mikrovlnná trouba, větrák nebo lednice (ve smyslu aktivace kompresoru) s přesností nad 95 %¹. Chytrý elektroměr nemusí odesílat data na úrovni vteřin, ale provést relevantní analýzu a přes komunikační kanál předat pouze relevantní příznak či celkovou informaci o charakteru spotřeby. Tato aplikace přitom také ukazuje, jak citlivá mohou být data o spotřebě s touto granularitou.

Mezi běžnější a již implementované aplikace vzdálené správy elektroměrů patří aktualizace SW elektroměru a kontrola jeho stavu, což může zabránit nepovolené manipulaci s elektroměrem. Další aplikací je možnost dálkového spínání odběru (např. v případě odpojování OM) nebo omezování velikosti odběru (např. pro pokročilé tarifní struktury).

Pro možnost využití těchto vlastností chytrých elektroměrů musí být zajištěna komunikační bezpečnost přenosu informací.

1.3.1.3 Správa distribuční soustavy

Z hlediska provozu distribuční soustavy umožňují chytré elektroměry velké množství pokročilých metod správy DS, které vychází z informací a z ovládacích schopností chytrých elektroměrů.

Nad rámec funkčních požadavků popsanych v rámci směrnice EU 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU² lze popsat konkrétní příklady využití chytrých elektroměrů ze strany PDS.

Možnosti užití lze seskupit například následujícím způsobem³ dle účelu, k jakému PDS používá systém chytrého měření:

¹ QAISAR, Saeed Mian, Futoon ALSHARIF, Abdulhamit SUBASI a Ahmed BENSENOUCI. Appliance Identification Based on Smart Meter Data and Event-Driven Processing in the 5G Framework. *Procedia Computer Science* [online]. 2021, **182**, 103-108 [cit. 2023-03-14]. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2021.02.014

² EVROPSKÁ UNIE. směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU (přepřacované znění), In: Úřední věstník, L 158, 14. 6. 2019, s. 125-199. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

³ Volně zpracováno dle: ENGAGE CONSULTING LIMITED. ENA Smart Metering Use Cases. [online]. 2010. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.energynetworks.org/assets/images/Resource%20library/Smart%20Meters%20-%20System%20Use%20Cases.pdf?1697099533>

- Hodnocení provozu sítě (např. monitorování napětí a toků výkonů, sběr informací pro vliv rozšiřování soustavy o změnu podílu distribuované výroby a změnu velikosti spotřeby, sběr dat pro předpovídání stavu soustavy)
- Aktivní správa sítě za účelem udržování rovnováhy soustavy (např. umožnění flexibility na straně poptávky, spínání či omezování odběrů za účelem zachování stability, hodnocení účinnosti implementovaných opatření pro udržování rovnováhy)
- Aktivní správa sítě za účelem postihnutí plánovaných a neplánovaných výpadků (např. informování zákazníka o výpadku, lokalizace poruchy, potvrzení obnovení dodávky)
- Zabezpečení sítě (např. poplašné zprávy v případě ztráty napětí, upozornění v případě detekce podpětí či přepětí)
- Podpora chytré sítě (např. aktualizace firmware elektroměrů, konfigurace nastavení elektroměrů)

Existují také další uplatnění spojená s analýzou dat z chytrého měření nebo například s rozšířením obchodních možností (např. možnost zavedení sofistikovanější tarifní struktury).

1.3.2 Použití strojového učení v kontextu chytrého měření

V rámci chytrého měření je získáváno velké množství dat, pro jejichž zpracování je vhodné použití strojového učení (resp. umělé inteligence obecně). Je to dáno za prvé velkým množstvím dat, jejichž interpretaci může strojové učení usnadnit, a za druhé velkým množstvím proměnných, které spotřebu odběrných udávají, a které mohou metody strojového učení identifikovat a do určité míry také popsat.

1.3.2.1 Klasifikace strojového učení

Strojovým učením je běžně označován proces, ve kterém program získává schopnost rozpoznávat struktury v datech¹ a na základě nich provádět úkony (i např. úkony upravující jeho vlastní procesy). V běžném programování je celý problém popsán člověkem a program jej řeší vykonáváním příkazů, zatímco v případě strojového učení program upravuje některé ze svých parametrů na základě vložených dat a tím získává schopnost problém řešit nad rámec znalostí člověka, který jej vytvořil.

V rámci strojového učení je běžně pracováno s velkými datovými soubory (datasety), které se skládají z jednotlivých datových bodů. Datasety mají zpravidla atributy (či „vlastnosti“, „features“), které datové body charakterizují. Příkladem může být dataset měření chytrého elektroměru jednoho odběrného místa, ve kterém jeden datový bod představuje jedno měření elektroměru. Datové body tohoto datasetu jsou charakterizovány atributy, mezi které může patřit stav elektroměru a čas příslušný k tomuto stavu.

¹ PATTERSON, Josh; GIBSON, Adam. *Deep learning: A practitioner's approach*. " O'Reilly Media, Inc.", 2017.

Strojové učení lze kategorizovat podle metodologie, která je využita v procesu učení¹.

Jedná se o:

- „Učení s učitelem“ („*supervised learning*“)
- „Učení bez učitele“ („*unsupervised learning*“)
- „Učení posilováním“ („*reinforcement learning*“)

V případě učení s učitelem dostává algoritmus „učební“ dataset, ve kterém je ke všem datovým bodům přiřazen požadovaný výstup. Program nejprve projde „učební“ dataset a upravuje své parametry tak, aby docházel ke stejným výstupům, které mu poskytl „učitel“. Naučený program poté můžeme použít na jiný dataset, ve kterém již máme k dispozici pouze vstupní datové body a program na základě naučených struktur provede jejich vyhodnocení a tím určí výstupy. Tento přístup lze použít například v klasifikačních problémech (vstupem budou data již rozřazená do skupin, program se naučí klasifikovat na základě rozřazeného datasetu) nebo regresních problémech (vstupem mohou být nezávislé proměnné a učebním výstupem funkční hodnota neznámé funkce, která byla například pouze změřena a není teoreticky popsána, program se na nezávislých proměnných a funkčních hodnotách učí generovat funkční hodnoty, tj. simulovat hledanou funkci).

Učení bez učitele nezahrnuje známé výstupy. Program se na základě zvolené metody sám snaží nalézt struktury a vztahy mezi jednotlivými atributy datových bodů. Typickým příkladem může být klasifikace datových bodů do skupin na základě podobnosti hodnot jejich vlastností. V rámci chytrého měření lze uvést příklad, kdy by učení bez učitele mohlo být použito na datech z chytrého elektroměru pro klasifikaci odběrných míst do skupin podobného chování, což je proces podobný například rozdělení odběrných míst do skupin podle typových diagramů dodávky (TDD).

Učení posilováním je specifickým příkladem učební metody, ve které program dostává „odměny“ za správně vyhodnocené datové body (a případně také „tresty“ za nesprávně vyhodnocené datové body). Na základě snahy maximalizovat množství získaných „odměn“ upravuje své parametry. Tímto způsobem je tedy „posilováno“ správné řešení problému. Příkladem může být řešení problému, ve kterém jsme schopni snadno ověřit, zda je řešení správné nebo špatné, ale nalezení řešení je příliš náročné nebo zdlouhavé pro to, aby bylo provedeno běžným programováním.

Strojové učení lze použít k řešení mnoha typů úloh, přičemž pro různé úlohy jsou zpravidla používány jiné typy strojového učení a jiné přístupy. Některé z těchto typů úloh byly uvedeny již dříve.

Úlohy lze dělit například tímto způsobem¹:

¹ WILMOTT, Paul. *Machine learning: an applied mathematics introduction*. Panda Ohana Publishing, 2019. ISBN 9781916081604;1916081606;

- Klasifikace a regrese
- Tvorba strukturovaného výstupu
- Zpracování dat (detekce anomálií, doplnění hodnot, vzorkování, syntéza...)

V případě klasifikace a regrese jde o nalezení funkce, která datovým bodům na základě jejich atributů přiřazuje buď třídu (klasifikace) nebo výstupní hodnotu (regrese). Hlavním rozdílem mezi klasifikací a regresí je fakt, že klasifikačních tříd je konečné množství (například jsou označeny celými čísly od jedné do k), zatímco v případě regrese může být výstupní hodnota kterékoli číslo z nekonečné množiny reálných čísel.

Tvorbou strukturovaného výstupu je využití strojového učení k vytvoření složitějšího výsledku, například rozpoznání a zapisování textu na základě mluveného slova, generování překladu z jednoho jazyka do druhého nebo rozpoznávání textů či symbolů v obrázcích.

Strojové učení lze také využít ke zpracování dat, například k hledání anomálií (tj. bodů v sekvenci, které do ní „nepatří“ a dle svých atributů se nějakým způsobem vymykají), nebo k doplňování chybějících atributů datových bodů na základě ostatních vzorků, které mají uvedeny všechny atributy. Poměrně významným a v poslední době často skloňovaným užitím strojového učení je syntéza dat. Jedná se o generování zcela nových datových bodů na základě známých dat v případech, kdy by jinak mohla být tvorba nových datových bodů náročná. Do této kategorie patří generování textu na základě vstupního pokynu (např. modely typu GPT – *Generated Pre-trained Transformer*) nebo například generování obrázků vizuálně podobných vstupní sadě.

K řešení těchto úloh je využíváno mnoha různých metod, pro příklad lze uvést tyto²:

- Rozhodovací stromy
- Umělé neuronové sítě
- Shlukování metodou nejbližších středů („*K-means clustering*“)
- Metoda K-nejbližších sousedů („*K-nearest neighbours*“)

Rozhodovací stromy vychází z podobného principu jako vývojový diagram („*flow-chart*“), kdy je provedena klasifikace na základě rozhodovacích kritérií. Vstup „propadává“ stromem dokud „nespadne“ do správné kategorie. Strojové učení může být použito například v souvislosti s učením s učitelem k tomu, aby algoritmus sestavil vhodný strom na základě velkého učebního vzorku již roztržďeného do tříd. Vytvořený strom poté lze použít ke klasifikaci jednodušším systémem. Na rozdíl od umělých neuronových sítí je jedním z kritérií jednoznačnost průchodu stromem (tj. ke každé kategorii lze dojít pouze jednou, jednoznačnou cestou). Další vlastností je jednoduchost rozhodovacího stromu proti jiným metodám.

¹ OSIČKA, Petr. Strojové učení a deep learning. *Matematika–fyzika–informatika*. [online]. 2021. [cit.2023-03-02]. 30(2):133–145. Dostupné z: <https://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/541>

² WILMOTT, Paul. *Machine learning: an applied mathematics introduction*. Panda Ohana Publishing, 2019. ISBN 9781916081604;1916081606;

Umělé neuronové sítě („*Artificial Neural Network, ANN*“, s detailním příkladem použití v kapitole 3) jsou založeny na biologické předloze v podobě neuronu (v rámci ANN nazývaných perceptrony). Umělou neuronovou síť lze popsat jako síť objektů, které přijímají vstupy (atributy) a s pomocí vhodně zvolených funkcí s nastavitelnými parametry z nich vytváří výstupy. Proces učení je v tomto případě nastavování parametrů sítí. Existuje velké množství složitějších struktur, kdy je průchod sítí méně jednoznačný, než jak je zde popsáno (např. rekurzní sítě). Vrstvením mnoha vrstev umělých neuronů (až stovek vrstev) vznikají „hluboké“ neuronové sítě, kterými se zabývají metody nazývané „*Deep Learning*“ (DL), popř. „Hluboké učení“.

Shlukování metodou nejbližších středů je metoda určená pro klasifikaci, ve které je každému bodu přiřazen jeden ze středů o počtu K , a poté je pozice těchto středů optimalizována učebním procesem tak, aby bylo rozdělení do tříd optimální.

Metoda K -nejbližších sousedů je také určena pro klasifikaci (ač může být použita i pro regresi), ale tentokrát využívá učení s učitelem. Začíná s určitým počtem datových bodů, které již byly klasifikovány (učitelem). Její užití začíná přidáním nového bodu. Z atributů nového bodu vypočteme parametr odpovídající vzdálenosti od ostatních bodů. Na základě vzdálenosti nalezneme K -nejbližších sousedů. Nový bod přiřadíme do té kategorie, do které přísluší nejvíce z jeho K -nejbližších sousedů.

Nad rámec těchto metod existuje velké množství dalších, složitějších struktur a odvozených algoritmů, které umožňují řešit široké spektrum problémů a úloh, z nichž některé byly uvedeny výše.

1.3.2.2 Příklady užití tzv. hlubokého učení („*Deep Learning*“) ve Smart Meteringu

Smart Metering je zdrojem velkého množství dat, která obsahují kompletní informaci o spotřebě měřených odběrných míst. Není příliš realistické pokusit se tato data jakkoliv zpracovat pro interpretaci člověkem bez toho, aby byla část informace ztracena vlivem zjednodušování. Strojové učení a zejména *deep learning* je potenciálně vhodnou metodou pro využití těchto dat s velkou perspektivou. Zájem o jejich užití v letech 2016 až 2021 velmi výrazně roste (dle zdroje shrnujícího literaturu z roku 2022, který zahrnuje přibližně 100 článků)¹.

Mezi základní způsoby využití *deep learningu* v oblasti chytrých elektroměrů lze zařadit následující aplikace²:

¹ ESKANDARNIA, Elham, Hesham AL-AMMAL, Riadh KSANTINI a Mustafa HAMMAD. Deep Learning Techniques for Smart Meter Data Analytics: A Review. *SN Computer Science* [online]. 2022, 3(3) [cit. 2023-03-07]. ISSN 2662-995X. Dostupné z: doi:10.1007/s42979-022-01161-6

² BREITENBACH, Johannes, Jan GROSS, Manuel WENGERT, James ANURATHAN, Rico BITSCH, Zafer KOSAR, Emre TUELUE a Ricardo BUETTNER. A Systematic Literature Review of Deep Learning Approaches in Smart Meter Data Analytics. In: *2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)* [online]. IEEE, 2022, 2022, s. 1337-1342 [cit. 2023-03-07]. ISBN 978-1-6654-8810-5. Dostupné z: doi:10.1109/COMPSAC54236.2022.00211

- Analýza spotřeby, zahrnující identifikaci charakteru spotřeby podle jeho průběhu (například rozpoznání jednotlivých spotřebičů nebo jiných vzorců ve spotřebě), klasifikace spotřeby do skupin s podobným charakterem nebo rozpoznání společných činitelů, které spotřebu mohou ovlivňovat.
- Předpověď spotřeby, využívající jak běžné metody zahrnující modelování s využitím strojového učení pro nalezení nejpřesnějšího nastavení modelu, tak i metody založené na zahrnutí teorie pravděpodobnosti a hledání nejistot vztahujících se ke spotřebě s využitím Bayesovy věty.
- Ochrana dat a věrohodnosti údajů o spotřebě, spočívající v zabezpečení dat při přenosu a zabránění jejich ovlivnění či pozměnění s pomocí metod založených na *deep learningu*, odhalení neoprávněných odběrů a nalezení chyb ve funkčnosti sítě chytrého měření.

Jako další, vedlejší aplikace lze zmínit možnost integrace strojového učení do domácí automatizace, kde může optimalizovat ovládání spotřebičů. V tomto ohledu nejsou příliš užitečné metody *deep learningu* a spíše by se zde mohly uplatňovat jiné pokročilé metody strojového učení. S tímto příkladem užití souvisí také flexibilita poptávky po energii. Strojové učení může sloužit k ovládání spotřeby takovým způsobem, aby byla spotřeba optimální z hlediska využití domácí elektrárny nebo z hlediska spotové ceny elektřiny či jiných kritérií.

1.3.2.3 Použití umělých neuronových sítí pro predikce spotřeby

Existuje velké množství příkladů použití strojového učení pro predikce spotřeby, z nichž většina používá data z chytrých elektroměrů. Zpravidla se metody specializují na predikce na konkrétní domácnosti, což značně zlepšuje jejich přesnost.

Jako příklad lze uvést studii¹ využívající rekurentní umělé neuronové sítě, které pracují se vstupy z dřívějších časových kroků pro vytvoření predikce na následující krok. Zároveň je použit „online“ přístup, ve kterém mohou být data průběžně doplňována bez toho, aby bylo nutné celou síť přetrénovat, jak je tomu u „offline“ metod. V případě této studie byla vypracována predikce pro pět koncových zákazníků s daty o spotřebě za tři předcházející roky v hodinových intervalech. Ke každému údaji o spotřebě je přiřazeno také jedenáct dalších parametrů, které mohou ovlivnit spotřebu.

V rámci zmíněné studie se jednalo o pět veličin spojených s atmosférickými podmínkami v dané hodině:

- teplota,
- rychlost větru,
- směr větru,

¹ FEKRI, Mohammad Navid, Harsh PATEL, Katarina GROLINGER a Vinay SHARMA. Deep learning for load forecasting with smart meter data: Online Adaptive Recurrent Neural Network. *Applied Energy* [online]. 2021, **282** [cit. 2023-03-07]. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2020.116177

- vlhkost,
- atmosférický tlak.

Zbývajících šest parametrů se týkalo času a období, do kterého měření příslušelo:

- měsíc,
- den v roce,
- pořadové číslo hodiny ve dni
- číslo týdne v roce,
- den v týdnu,
- roční období.

Pro posouzení přesnosti zvolených metod (v rámci studie bylo testováno několik metod zároveň) jsou v této studii používány ukazatele MAE (*Mean Absolute Error*) a MSE (*Mean Squared Error*). V jiných studiích se používají i ukazatele RMSE (*Root-Mean-Square Error*) a MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Tyto ukazatele popisují přesnost predikční metody. Jejich definice jsou uvedeny v části 3.3.1.

Jednotky u ukazatele MAE a RMSE odpovídají jednotkám posuzované veličiny (např. spotřeby). Jednotka MSE je druhou mocninou posuzované veličiny. Zpravidla jsou používány normalizované hodnoty těchto ukazatelů (viz příklady dále), které jsou bezrozměrné. Ukazatel MAPE je bezrozměrný z definice (viz rovnice 3-5).

Ukazatel MAE se ve výsledcích první výše zmíněné studie pro předpověď na 200 hodin dopředu pohyboval při použití rekurentní neuronové sítě s online učením mezi 0,1100 a 0,4375. Ukazatel MSE se pro stejný typ předpovědi pohyboval mezi 0,2116 a 0,7022. Byla posuzována normalizovaná spotřeba, a proto jsou tyto ukazatele bezrozměrné.

Tyto údaje dávají určitý referenční bod, s pomocí kterého lze volit parametry pro vypracování vlastní predikce, čemuž je věnována kapitola 3.

Dobrych výsledků lze dosáhnout i s pomocí jednodušších koncepcí, které navíc nemusí vyžadovat tolik času na naučení ANN. Jako příklad lze uvést studii¹ věnovanou predikci na úrovni několika bytových domů, využívající „jednoduchou“ dopřednou neuronovou síť (blíže popsána je ve 3. kapitole, kde je použití takové sítě i aplikováno). V této studii byly použity ukazatele MAE, RMSE a MAPE. Vytvořený model predikuje spotřebu ve více horizontech a porovnává mimo jiné použití statisticky normalizovaných dat (jako vstupů pro neuronovou síť) oproti nenormalizovaným datům o spotřebě. V případě predikce v nejdelším horizontu (jeden týden) má metoda využívající nenormalizovaná data parametr MAE roven 2,11, parametr RMSE roven 2,62 a parametr MAPE roven 5,91. Ač je v tomto případě použito nenormalizovaných dat o spotřebě pro učení ANN, výstupem je vždy spotřeba normalizovaná

¹ FAYAZ, Muhammad, Habib SHAH, Ali ASEERE, Wali MASHWANI a Abdul SHAH. A Framework for Prediction of Household Energy Consumption Using Feed Forward Back Propagation Neural Network. *Technologies* [online]. 2019, 7(2) [cit. 2023-08-03]. ISSN 2227-7080. Dostupné z: doi:10.3390/technologies7020030

(bezrozměrná). Z tohoto důvodu jsou ukazatele přesnosti predikce také bezrozměrné. Díky tomu lze obě metody porovnat.

Metoda používající normalizovaná data má pro předpověď na jeden týden parametr MAE roven 1,95, parametr RMSE roven 2,36 a parametr MAPE roven 5,26.

Z těchto výsledků pro další postup plyne, že je vhodné data z chytrých elektroměrů normalizovat s pomocí statistických metod, ale dobrých výsledků lze dosáhnout i při použití nenormalizovaných dat.

Celkově existuje velmi velké množství topologií umělých neuronových sítí, které lze pro predikce využít, s různými výsledky a různou výpočetní náročností¹.

¹ DEWANGAN, Fanidhar, Almoataz Y. ABDELAZIZ a Monalisa BISWAL. Load Forecasting Models in Smart Grid Using Smart Meter Information: A Review. *Energies* [online]. 2023, 16(3) [cit. 2023-08-03]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en16031404

KAPITOLA 2: ROZVOJ CHYTRÉHO MĚŘENÍ V ČR A V EVROPĚ

2.1 Shrnutí současného stavu v rámci Evropy

Aktuální rozvoj chytrého měření v rámci Evropy vychází primárně z postupu EU a z relevantních směrnic Evropské komise, které si kladou za cíl zvýšit energetickou účinnost a všeobecně optimalizovat spotřebu elektrické energie v EU.

Za určující lze považovat směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou¹, která definuje nové tržní prostředí, do kterého zavádí kromě chytrého měření také pojmy občanských energetických komunit, agregace na straně poptávky či flexibility na straně poptávky. Všechny tyto pojmy jsou spojeny s možnostmi a nasazením chytrých elektroměrů a s realizací chytrého měření, které tato směrnice rovněž definuje.

Tato směrnice se také dotýká tématiky elektromobility, aktivních zákazníků (tj. decentralizovaných zdrojů energie), ukládání energie a dále organizace správy sítě (tj. povinnosti provozovatelů DS (distribučních soustav) a PS (přenosových soustav), funkce a cíle regulačního orgánu a celková organizace trhu apod.). Tyto informace mají vztah k chytrému měření především v širším kontextu celkové soustavy spíše než v konkrétních ustanoveních.

Směrnice je výsledkem delšího vývoje legislativy, který je znázorněn na obrázku 2-1.



Obr. 2-1 Shrnutí vývoje legislativy od tzv. „třetího energetického balíčku“ do balíčku tzv. „Čistá energie pro všechny Evropany“²

¹ EVROPSKÁ UNIE, směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU (přepřacované znění), In: Úřední věstník, L 158, 14. 6. 2019, s. 125–199. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

² EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

Jedním z aktuálních prvků legislativy je poté nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 715/2022, kterým se stanoví hlavní směry pro transevropské energetické sítě¹. Toto nařízení se však zejména dotýká organizace projektů souvisejících s transformací evropských energetických sítí. Inteligentních sítí (a tedy i chytrého měření) se dotýká pouze okrajově.

Z technického hlediska je stav rozšíření SM poměrně různorodý, což je dáno různými strategiemi a přístupy jednotlivých zemí v Evropě. Výběr některých příkladů bude uveden dále v rámci této kapitoly.

2.1.1 Jednotný postup EU

Cílem evropské legislativy je vybavit 80 % zákazníků v dané členské zemi chytrými elektroměry do sedmi let od momentu, kdy pozitivní výsledek analýzy CBA (*Cost-benefit Analysis*) ukáže vyšší ekonomické přínosy než náklady. V případě těch členských zemí, které začaly s rozvojem SM před 4. červencem 2019 je pak hraničním rokem pro dosažení výše uvedeného cíle rok 2024.

V rámci EU je stanoven základní souhrn funkčních požadavků (poskytování dat, měření po dostatečně krátkých intervalech, obousměrná komunikace apod.), které musí implementované chytré elektroměry splňovat, ale vlastní realizace je ponechána na jednotlivých členských státech (a tedy zpravidla na provozovatelích DS, resp. provozovatelích elektroměrů).

Za účelem sjednocení problematiky je také používán jednotný popis rozhraní (uveden na obrázku 1-5), který umožňuje sjednotit názvosloví. Jednotlivé informační toky a komunikační cesty se totiž u různých výrobců či v rámci různých členských zemí často liší (i když zůstává zpravidla stejná či obdobná funkcionalita).

2.1.2 Stav ve členských státech

Na základě CBA s kladným výsledkem v současné době probíhá tzv. *roll-out* (zavádění) SM v rámci EU (a také v dalších zemích Evropy) s několika různými technologiemi chytrých elektroměrů a způsobů jejich využití.

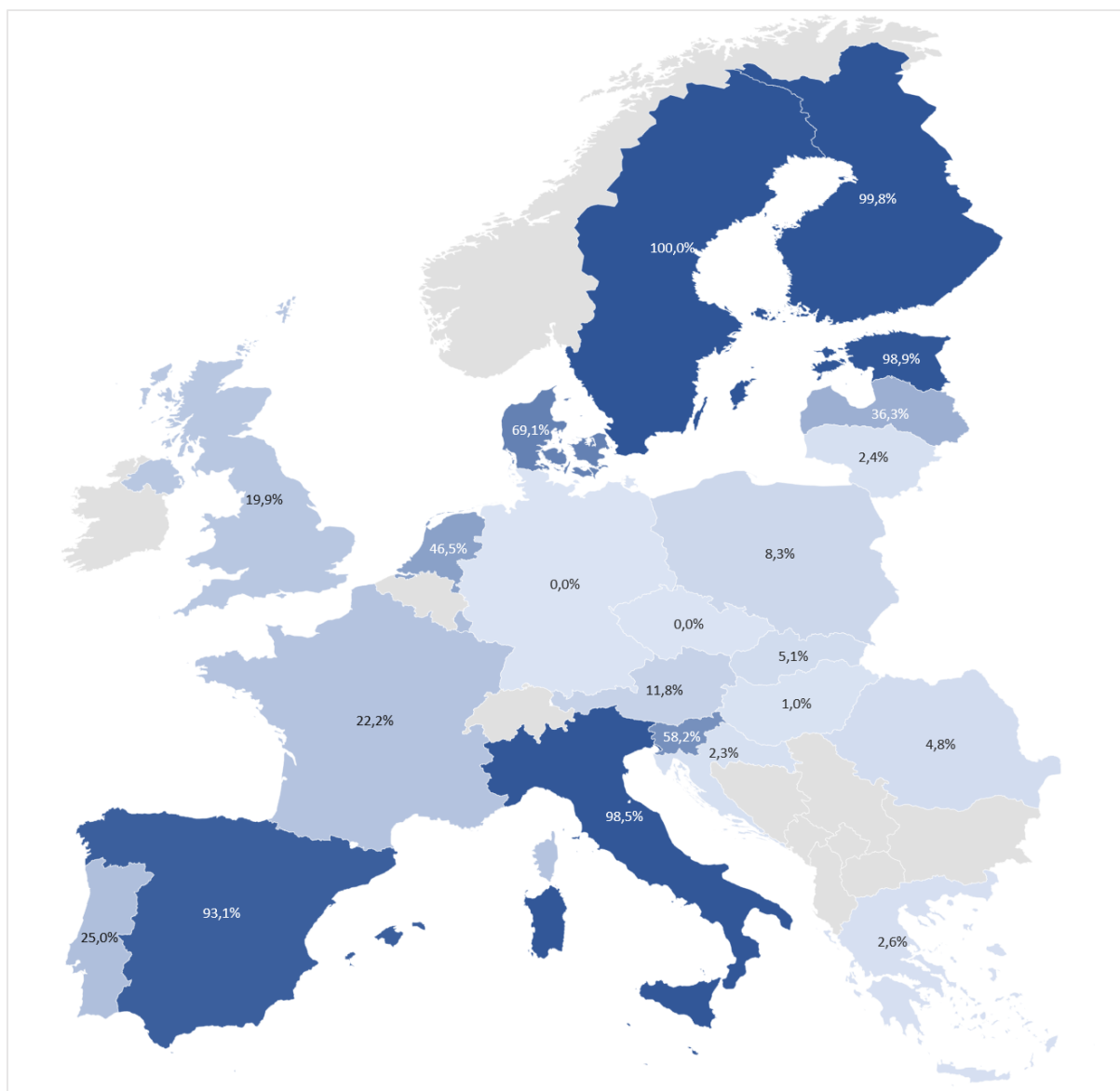
Postup rozvoje SM v EU je sledován mimo jiné zprávami („*benchmarking*“)², které popisují stav v jednotlivých členských zemích. Další zde uvedené zdroje tyto zprávy aktualizují a tím může vzniknout obraz o současném rozvoji ve všech členských státech EU.

Na obrázku 2-2 je uvedena mapa popisující stav v roce 2018. V případě některých zemí nebyla data k dispozici, protože nejsou součástí EU nebo data nebyla pro nízký počet instalovaných SM (či z jiných důvodů) získána. Tyto země jsou na mapě vyznačeny šedou

¹ EVROPSKÁ UNIE, nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/869 ze dne 30. května 2022, kterým se stanoví hlavní směry pro transevropské energetické sítě, mění nařízení (ES) č. 715/2009, (EU) 2019/942 a (EU) 2019/943 a směrnice 2009/73/ES a (EU) 2019/944 a zrušuje nařízení (EU) č. 347/2013, In: Úřední věstník, L 152, 3. 6. 2022, s. 45–102. Dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022R0869>

² EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28: final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

barvou. Šedá barva nemusí nutně znamenat, že je v dané zemi nízký podíl odběrných míst s instalovanými SM. Uvnitř zemí je poté uveden procentuální podíl odběratelů již osazených chytrými elektroměry



Obr. 2-2 Podíl OM osazených SM v Evropě pro rok 2018¹

Jedním z aktuálních, veřejně dostupných zdrojů je zpráva Agentury pro spolupráci energetických regulačních orgánů (ACER, *Agency for the Cooperation of Energy Regulators*). Na obrázku 2-3 je mapa aktualizovaná na základě zprávy z roku 2022 pro stav v roce 2021.

Porovnáním obou map je patrné, že dochází ke stálému pokračování rozvoje SM. V tříletém intervalu mezi oběma stavy došlo zejména k dokončení „roll-outu“ v těch zemích, ve kterých již byl zahájen (jako jsou například země v Pobaltí nebo např. Francie a Nizozemsko).

¹ Zpracováno na základě dat z: EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

Na mapě je také vidět pozice ČR a nejbližších sousedních zemí, které zavádějí SM spíše pomalejším tempem. Legenda této mapy je stejná, jako v případě obrázku 2-2.



Obr. 2-3 Stav SM v Evropě pro rok 2021¹

Z této analýzy současného stavu a vývoje lze vybrat několik zemí, kterým je vhodné věnovat pozornost (což vyplývá jak z podílu instalovaných elektroměrů, tak také z použité technologie a také z dalších zdrojů², které se věnují analýze konkrétních zemí).

¹ Zpracováno na základě dat z: ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

² SEVEN, The Energy Efficiency Center, z.ú., *Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR*. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z www: <https://wwwprod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele>

2.2 Aktualizace stavu pro vzorek vybraných zemí

Popis stavu rozšíření SM ve všech členských zemích EU byl zpracován v rámci „benchmarkingu“ v podobě doprovázející zprávy¹, kde je rozveden i stav legislativy, CBA a technologické specifikace v dané zemi. Na základě těchto informací lze uvést aktualizaci v zemích, které mohou být relevantní pro rozvoj v rámci ČR.

Vzorek byl vybrán na základě širšího studia problematiky zejména podle kritéria podobnosti s ČR, různorodosti v použití technologie a v přístupu k zákazníkovi tak, aby pokrýval možné aplikace SM a zároveň, aby nebyly informace nad míru duplicitní.

2.2.1 Nizozemsko

V rámci Nizozemska je proces „roll-outu“ v závěrečné fázi. Podíl domácností s instalovanými SM je přibližně 87,4 % k roku 2021², přičemž původní strategie mířila na dokončení „roll-outu“ k roku 2020³ a došlo k jejímu zpoždění. SM jsou zaváděny na základě vládního programu, v rámci kterého se souběžně s rozvojem chytrých elektroměrů nasazují i chytré plynoměry.

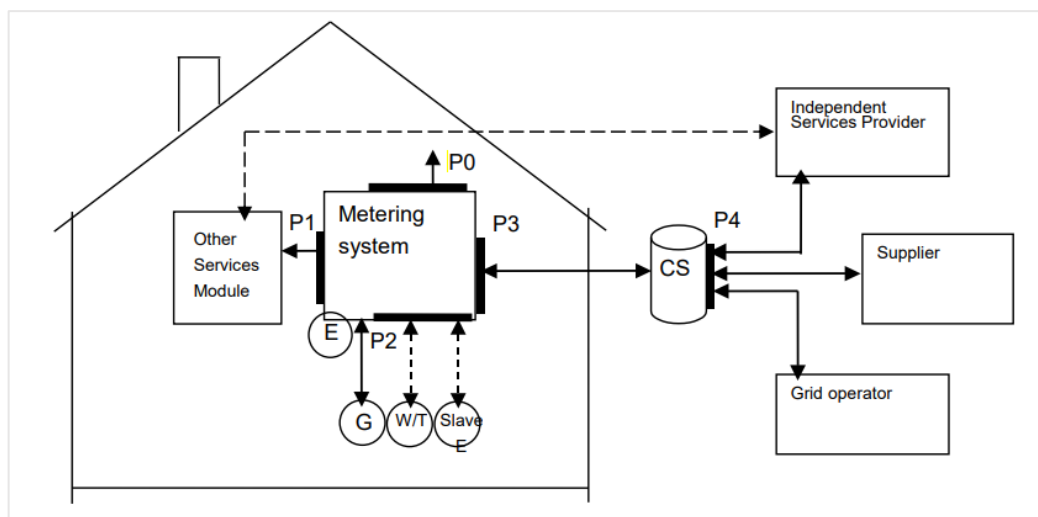
V rámci Nizozemska operuje více PDS, přičemž elektroměrová data jsou za účelem jednotného rozhraní pro vyúčtování energie sjednocena v databázi ústřední organizace dodavatelů energie a PDS s názvem EDSN (*Energie Data Services Nederland*). V rámci Nizozemska také díky velkému rozšíření SM operuje větší množství tzv. ISP (*Independent Service Provider*), kteří nabízejí služby využívající data z chytrého měření.

Nizozemsko také zavádí vlastní přístup k pojmenování jednotlivých rozhraní, ve kterém je zohledněna i role EDSN. Tato rozhraní P0 až P4 jsou schématicky vyobrazena na obrázku 2-4.

¹ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Tounquet, F., Linden, M., Mandatova, P., et al., *Supporting country fiches accompanying the report Benchmarking smart metering deployment in the EU-28*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/728829>

² ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

³ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>



Obr. 2-4 Rozhraní SM používaná v Nizozemsku¹

Značení tohoto obrázku:

- „E“ = elektroměr,
- „G“ = plynoměr,
- „W/T“ = vodoměr, měřič tepla,
- „Slave E“ = elektroměr „podřazený“ hlavnímu elektroměru,
- „CS“ = centrální systém, tj. systém EDSN.

Význam jednotlivých rozhraní a jejich funkcionality pak jsou:

- P0 = servisní rozhraní pro instalaci a manipulaci s elektroměrem při údržbě,
- P1 = komunikační rozhraní pro jednosměrný odečet informací z elektroměru spotřebitelským zařízením (jako je např. In-home Display, nebo zařízení ISP).
- P2 = komunikační rozhraní pro připojení dalších měřících zařízení, jako je například chytrý plynoměr
- P3 = komunikační rozhraní pro odesílání dat do centrálního systému a příjem pokynů z centrálního systému.
- P4 = komunikační rozhraní pro předávání informací mezi centrálním systémem a dalšími stranami.

Pro jednotlivá rozhraní je použito více různých komunikačních protokolů a médií s ohledem na jejich praktičnost pro danou aplikaci. Pro komunikaci s centrálním systémem je zpravidla použito LTE či dříve PLC, přičemž bezdrátová komunikace se řídí dle protokolu IEC 62056 DLMS / COSEM.

Pro další rozhraní jsou zpravidla použita běžně dostupná bezdrátová či kabelová rozhraní, která závisí také na technologii zvoleného elektroměru či sítě, ke které má být připojen.

¹ NETBEHEER NEDERLAND – WG DSMR. Dutch Smart Meter Requirements, *Main Document*. [online]. 2019. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Slimme_meter_15_bf3be9c18c.pdf

Další parametry v rámci Nizozemska odpovídají běžnému užití chytrých elektroměrů, přičemž je kladen důraz na zabezpečení a soukromí dat zákazníka. I navzdory tomu bylo v rámci Nizozemska zaznamenáno určité množství úniku dat, kdy byl přístup k databázi EDSN zneužit¹. Celková problematika zabezpečení vyvolává v Nizozemsku diskusi ohledně přínosů Smart Meteringu jako takového.

Nizozemsko se v oblasti chytrých elektroměrů také věnuje pilotním projektům energetických komunit (agregace spotřebitelů za účelem např. vyrovnávání zátěže a využívání domácích výroben), které s chytrým měřením souvisí.

2.2.2 Německo

Na základě CBA s negativním výsledkem nebyl v Německu zatím realizován celkový „roll-out“ chytrých elektroměrů, a proto je úroveň jejich osazení 0 % (s výjimkou pilotních projektů v malém rozsahu)².

V Německu byla zvolena strategie rozvoje SM založená na postupném osazování odběrných míst dle jejich roční spotřeby a jejich instalovaného výkonu. Základní hranicí pro instalaci SM je roční spotřeba 6 MWh nebo výrobní elektřiny o špičkovém výkonu nad 7 kWp. OM s nespĺňujícími parametry jsou vybaveny pouze tzv. *moderne Messeinrichtungen*, tj. moderním elektroměrem, který může být v případě potřeby doplněn komunikačním rozhraním, kterým se jeho funkce mění na SM.

Toto komunikační rozhraní hraje klíčovou roli v „roll-outu“ v Německu a nazývá se „Smart Meter Gateway“. Umožňuje připojení elektroměru k centrální databázi a ke správě na úrovni PDS, ale také připojení k dalším, místním měřicím zařízením (např. podřazené elektroměry) a komunikaci s místní sítí zákazníka.

Komunikace je zde realizována opět dle její vhodnosti. Pro propojení s PDS může jít o Ethernet nebo bezdrátové připojení s pomocí GSM. Na lokální úrovni může komunikace probíhat také přes sériovou linku (např. RS485), bezdrátový *wireless MBus* či přes Ethernet.

V důsledku legislativních a administrativních problémů rozvoj nepostupoval tak rychle, jak se očekávalo a plánovalo. V roce 2023 je tedy navrhován zákon³ pro restart „roll-outu“, který cílí na zahájení nového rozvoje SM do roku 2025 a jeho plné dokončení do roku 2030. Urychlení má

¹ SEVEN, The Energy Efficiency Center, z.ú., *Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR*. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z [www: https://wwwprod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele](https://wwwprod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele)

² ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

³ NEMECKO, BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. Entwurf eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende. 2023. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z [www: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/entwurf-eines-gesetzes-zum-neustart-der-digitalisierung-der-energie-wende.html](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/entwurf-eines-gesetzes-zum-neustart-der-digitalisierung-der-energie-wende.html)

být docíleno změnou legislativy, zrychlením procesu schvalování vhodných zařízení pro roli SM a také nastavením fixního maxima 20 €/rok pro koncové zákazníky za instalaci SM.

2.2.3 Itálie

Itálie patří mezi jednu z prvních zemí, ve kterých byly zaváděny elektroměry. Z toho důvodu je současný stav stejný jako stav v roce 2018, tj. přibližně 99 %¹ OM již je vybaveno SM.

Rané zavádění chytrého měření v rámci Itálie znamenalo problémy se sjednocením technologie (zejména problémy kompatibility elektroměrů od různých výrobců mezi sebou v rámci jedné DS). V současné době probíhá „roll-out“ druhé generace chytrých elektroměrů v Itálii (tzv. „Open Meter“²), jejichž účelem je „dohnání“ technologie současných SM, které umožňují také poskytování dat v reálném čase zákazníkům. V Itálii je použita v principu jednoduchá metoda sdílení dat se zákazníkem: dvojice komunikačních kanálů, kdy jeden slouží distributorovi (tzv. „Chain 1“) a druhý je k dispozici pro potřeby zákazníka (tzv. „Chain 2“). V rámci tohoto rozlišení mohou být také využita zařízení třetích stran, která s daty z elektroměru pracují ve prospěch zákazníka.

V případě Itálie je používáno nejčastěji PLC-A pro komunikaci s PDS („Chain 1“) a PLC-C pro poskytování dat zákazníkovi („Chain 2“). Alternativou k PLC komunikaci s PDS je použití GSM v rámci 1. generace SM nebo LTE (popř. optické kabely) pro 2. generaci SM³.

V rámci rozšíření chytrých elektroměrů nedošlo v Itálii k tak velkým úsporám, jak bylo očekáváno, avšak několik pilotních projektů s využitím IHD ukazuje na potenciál zvýšení uvědomění o vlastní spotřebě a motivaci k úsporám právě při použití IHD, což může být relevantní pro rozvoj v rámci ČR⁴.

2.2.4 Spojené království Velké Británie a Severního Irska

V rámci Spojeného království Velké Británie a Severního Irska (dále UK) dochází k postupnému zavádění chytrých elektroměrů, které je dobře patrné na vývoji podílu OM s instalovanými SM. Pro rok 2018 bylo vybaveno přibližně 20 % OM⁵ a pro rok 2021 už se jednalo o 45 % OM¹.

¹ ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

² E-DISTRIBUZIONE. Webové stránky Open Meter. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.e-distribuzione.it/open-meter.html>

³ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Tounquet, F., Linden, M., Mandatova, P., et al., *Supporting country fiches accompanying the report Benchmarking smart metering deployment in the EU-28*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/728829>

⁴ SEVEn, The Energy Efficiency Center, z.ú., *Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR*. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z www: <https://www.prod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele>

⁵ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

Tyto hodnoty ale nemusí být přesným popisem stavu chytrých elektroměrů v UK, protože zde k „roll-outu“ docházelo ve dvou fázích, přičemž první generace chytrých elektroměrů (dle specifikace s názvem SMETS1, *Smart Metering Equipment Technical Specifications* první generace) neměla vhodně sjednocené technologie chytrých elektroměrů mezi jednotlivými provozovateli v rámci UK. Vzhledem k tomu, že v UK zastávají roli provozovatele elektroměru dodavatelé elektřiny, může v důsledku změny dodavatele dojít ke ztrátě inteligentních funkcí elektroměru, protože databáze a systémy nového dodavatele nemusí být kompatibilní s elektroměrem od původního dodavatele.

V současnosti je v procesu „roll-outu“ druhá generace elektroměrů dle specifikace SMETS2, která by měla řešit nedostatky první generace. Zároveň s tím probíhá migrace elektroměrů první generace na komunikační protokoly používané v rámci specifikace SMETS2.

Pro komunikaci s provozovatelem elektroměru se v UK používá zejména GSM (resp. v některých případech GPRS).

V rámci UK je také povinné poskytnutí IHD zákazníkovi za účelem zvýšení úspor, což je postaveno na studii *Early Learning Project*², podle které instalace IHD zvyšuje uvědomění koncových zákazníků o vlastní spotřebě, což mohou poté využít k úspoře energie.

IHD komunikuje s elektroměrem na základě protokolu ZigBee (tj. WPAN) a zpravidla bývá propojeno také s chytrým plynoměrem. Slouží k zobrazení aktuální či minulé spotřeby a může v něm být implementována i funkce zobrazování aktuální ceny elektřiny. Typický příklad společnosti SSE je uveden na obrázku 2-5.



Obr. 2-5 Příklad IHD společnosti SSE¹

¹ ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

² SPOJENÉ KRÁLOVSTVÍ, DEPARTMENT OF ENERGY & CLIMATE CHANGE. Smart Metering Early Learning Project and Small-Scale Behaviour Trials. 2015. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z www.gov.uk/government/publications/smart-metering-early-learning-project-and-small-scale-behaviour-trials

2.2.5 Španělsko

V rámci Španělska byl k roku 2018 „roll-out“ v závěrečné fázi, kdy podíl OM s instalovanými SM dosahoval přibližně 93 %². Další instalace chytrých elektroměrů dále pokračují, přičemž k roku 2021 je uváděna hodnota přibližně 97 % OM³ s instalovanými SM.

V rámci Španělska mají SM funkční význam zejména pro PDS, přičemž ti také zodpovídají za dálkový odečet dat a předání těchto dat dodavatelům energie. Nad rámec této zodpovědnosti je zaveden centrální informační systém SIPS („*Sistema de Información de Puntos de Suministro*“, tj. informační systém odběrných míst), který agreguje data a umožňuje jejich předání dodavatelům. S ohledem na citlivost těchto údajů je nutné, aby k předávání dat dal zákazník povolení. Navíc, kvůli možnosti přístupu dodavatelů k datům jiných než svých zákazníků zde nejsou obsaženy denní křivky spotřeby.

Celkově se v případě Španělska jedná o velké pokrytí SM, ale jejich plné funkcionality není využíváno a služby nabízené zákazníkům jsou omezené (jedná se zejména o monitorovací služby poskytované skrz např. webový portál distributora nebo webový portál dodavatele energie). Poskytování IHD není vyžadováno a zákazník nemá přímý přístup k datům blízko reálnému času.

Alternativou může být připojení chytrého elektroměru k dalšímu zařízení (tzv. „Smart Energy Box“), která umožní přístup k datům o spotřebě zařízení třetích stran, avšak tento typ zařízení dle současných zdrojů není v rámci regulace zaveden.

Pro komunikaci je v rámci Španělska používáno větší množství médií a protokolů, dle volby PDS, která jsou volena dle specifických potřeb daných oblastí (např. GSM, PLC nebo optické kabely).

2.2.6 Švédsko

Ve Švédsku byl „roll-out“ chytrých elektroměrů dokončen již před „benchmarkingem“ pro rok 2018, a proto je již pro rok 2018 uváděna hodnota 100 % OM⁴ s osazenými SM. V současné době je významnější problematika nahrazování SM, které jsou na hranici své životnosti, a také problematika různých funkcionalit chytrých elektroměrů, které vycházejí z výběru modelu na straně PDS. Vzniká zde riziko, že zákazníci (kteří si PDS vybrat nemohou), budou mít k dispozici rozdílné funkcionality podle distribučního území, ve kterém se jejich OM nachází.

¹ SSE Plc. Gas and electricity meter help and advice. Webové stránky. 2022. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z [www: https://sse.co.uk/help/energy/gas-and-electricity-meters](https://sse.co.uk/help/energy/gas-and-electricity-meters)

² EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

³ ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

⁴ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

Tyto problémy řeší zavádění druhé generace chytrých elektroměrů, které mají na rozdíl od první generace stanovené minimální funkční požadavky vyhláškou švédské vlády. Elektroměry musí požadavky splňovat do začátku roku 2025. Požadavky lze dohledat na webových stránkách EI („*Energimarknadsinspektionen*“, přibližně lze přeložit jako „inspekce trhu s energiemi“)¹. Funkce elektroměru musí dle EI zahrnovat:

1. měření proudu a napětí v jednotlivých fázích, měření činného a jalového výkonu a zaznamenání vstupní a výstupní činné energie,
2. rozhraní pro přístup zákazníka k datům blízko reálnému času,
3. odečet dat o spotřebě a dat o výpadcích na dálku,
4. měření a uložení informací o přenesené energii za danou čtvrt hodinu,
5. uložení informací o času začátku a konce výpadků delších než 3 minuty,
6. aktualizace a upgrade SW provozovatelem na dálku,
7. připojení a odpojení odběrného místa provozovatelem na dálku.

Z hlediska technologie neexistuje v rámci Švédska sjednocený standard pro komunikační kanály využívané pro chytré elektroměry. Vzhledem k velkému počtu PDS, kteří v rámci Švédska působí, je zde v použití větší množství technologií komunikace², zejména GPRS a jiná komunikace po rádiových vlnách, varianty PLC a pro komunikaci koncentrátoru dat s PDS pak také optické kabely.

V rámci Švédska také fungují třetí strany poskytující služby založené na připojení k SM a využití dat z chytrého měření.

2.2.7 Rakousko

V rámci Rakouska probíhá v současnosti „roll-out“ SM s určitým zpožděním. Původním plánem bylo osazení 95 % OM chytrými elektroměry do roku 2022³. K roku 2018 však tento podíl činil pouze 12 %⁴, přičemž aktuální údaj k roku 2021 udává hodnotu 45 %⁵. Nová legislativa uvádí cíl

¹ ENERGIEMARKNADSINSPEKTIONEN. Funktionskrav elmätare. Webové stránky. 2020. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z [www: https://ei.se/bransch/matning-av-el/funktionskrav-elmatare](https://ei.se/bransch/matning-av-el/funktionskrav-elmatare)

² EVROPSKÁ KOMISE. Country fiches for electricity smart metering Accompanying the document Report from the Commission Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity. 2014. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z [www: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN)

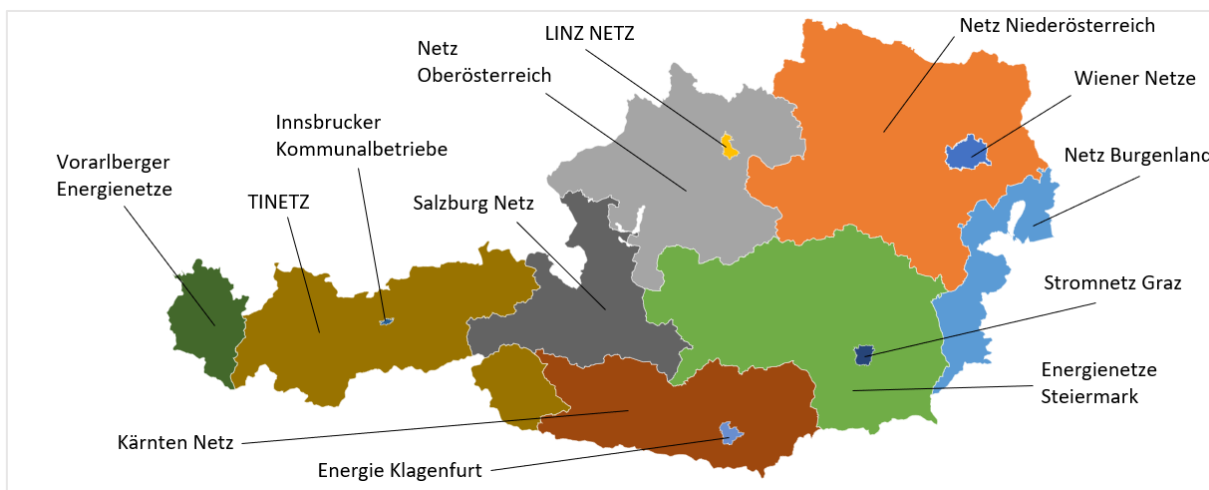
³ RAKOUSKO, BUNDESMINISTERS FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT. Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, mit der die Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung (IME-VO), geändert wird (IME-VO Novelle 2017). RIS, 2017. Dostupné z [www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2017_II_383/BGBLA_2017_II_383.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2017_II_383/BGBLA_2017_II_383.html)

⁴ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

⁵ ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf

95 % OM do konce roku 2024¹ a vyžaduje od PDS odůvodněné vysvětlení pro oblasti, kde nebude k roku 2022 pokrytí SM alespoň 40 %.

V Rakousku volí technologii chytrého měření PDS, kterých v Rakousku působí velké množství (řádově přibližně 120², z nichž 11 k roku 2020 bylo plně „unbundlováno“ a lze je považovat za významné regionální PDS). Vyskytuje se zde tedy mnoho řešení a komunikačních protokolů. Pro ilustraci obrázek 2-6 uvádí rozložení působnosti některých PDS vzhledem k regionům v Rakousku (nejedná se o přesné vymezení distribučních oblastí s ohledem na velký počet regionálních PDS, kteří v Rakousku působí).



Obr. 2-6 Přibližné rozložení působnosti některých PDS dle regionů v Rakousku³

Jako příklad komunikace v předávání dat do koncentrátorů je v Rakousku používáno standardní PLC komunikace s implementací s pomocí protokolu OSGP („Open Smart Grid Protocol“), přičemž další páteřní komunikační struktura je většinou založena na použití GSM či optických kabelů.

Pro komunikaci se zákazníkem lze uvést jako příklad z Rakouska *M-Bus*, či *M-Bus Wireless* a další bezdrátové technologie, např. na principu WPAN (ZigBee apod.)⁴.

Požadavky na elektroměry a možnosti, které poskytují, definuje rakouský regulátor trhu s energiemi, E-Control, následujícím způsobem⁵:

¹ RAKOUSKO, BUNDESMINISTERIN FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE. Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, mit der die Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung geändert wird. RIS, 2022. Dostupné z [www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2022_II_9/BGBLA_2022_II_9.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2022_II_9/BGBLA_2022_II_9.html)

² EURELECTRIC A.I.S.B.L. Distribution Grids in Europe, Facts and Figures 2020. [online]. 2020. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z [www: https://cdn.eurelectric.org/media/5089/dso-facts-and-figures-11122020-compressed-2020-030-0721-01-e-h-6BF237D8.pdf](https://cdn.eurelectric.org/media/5089/dso-facts-and-figures-11122020-compressed-2020-030-0721-01-e-h-6BF237D8.pdf)

³ Zpracováno dle: E-CONTROL, Electricity Distribution System Operators 1 January 2019 - 31 December 2023 Regulatory Regime for the Fourth Regulatory Period. [online]. 2018. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z [www: https://www.e-control.at/documents/1785851/1811597/Regulierungssystematik_4_Periode_STROM_Dez+2018_EN.pdf/75c38bb5-8903-7025-eb47-8bc72f4a7793?t=1562141191598](https://www.e-control.at/documents/1785851/1811597/Regulierungssystematik_4_Periode_STROM_Dez+2018_EN.pdf/75c38bb5-8903-7025-eb47-8bc72f4a7793?t=1562141191598)

⁴ NETWORKED ENERGY SERVICES. Establishing the Smart Grid in Austria. [online]. 2023. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z [www: https://www.networkedenergy.com/en/success/establishing-the-smart-grid-in-austria](https://www.networkedenergy.com/en/success/establishing-the-smart-grid-in-austria)

⁵ Plný výčet požadavků dle E-Control: RAKOUSKO, E-CONTROL. Verordnung der E-Control, mit der die Anforderungen an intelligente Messgeräte bestimmt werden (Intelligente Messgeräte-AnforderungsVO 2011 – IMA-VO 2011). RIS, 2011. Dostupné z [www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2011_II_339/BGBLA_2011_II_339.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2011_II_339/BGBLA_2011_II_339.html)

- obousměrná komunikace SM a PDS,
- odečet v 15minutových intervalech a ukládání daných parametrů po určitou dobu,
- možnost propojení s dalšími měřiči (např. chytrými plynoměry apod.),
- možnost pro jednosměrný odečet dat zákazníkem,
- zabezpečení přístupu dat před jejich zneužitím,
- odpojení odběru energie nebo omezení výkonu na dálku.

Nad rámec těchto možností je pak řešena problematika souhlasu s chytrým měřením ze strany zákazníka. S ohledem na citlivost dat o spotřebě s velkou granularitou, je zákazníkovi umožněno odmítnout chytré měření anebo naopak vyžádat aktivaci čtvrt hodinových odečtů. Zákazník má následující tři možnosti:

1. Tzv. „Opt-in“ možnost, která vzniká na základě výslovného souhlasu zákazníka, a umožňuje měření po 15 minutách spolu s ukládáním dat,
2. Tzv. „Opt-out“ možnost, která vzniká na základě výslovného přání zákazníka, a deaktivuje možnosti chytrého měření SM, takže funguje jako „běžný“ elektroměr s dálkovým odečtem jedenkrát za rok.
3. „Základní“ možnost, která je standardem v případě, že zákazník nevolí ani jednu z předchozích variant. V tomto případě SM funguje s denním odečtem spotřeby a odesíláním dat na dálku, ale nikoliv s odečtem po 15 minutách.

S ohledem na velké množství používaných technologií SM také existuje iniciativa pro vytvoření zařízení, které by umožňovalo zákazníkovi připojit se k elektroměru bez ohledu na jeho typ s pomocí převodníku na standardní rozhraní běžně používaná v „chytrých“ domácnostech. Jedná se o tzv. „Smart-Meter-Adapter.“¹

Toto zařízení je zatím ve stádiu vývoje a není běžně nabízeno, avšak v případě jeho komerčního nasazení může být významné i v jiných oblastech pro agregaci měřících přístrojů za účelem jejich správy a efektivní komunikace s nimi pro účely tzv. chytré domácnosti.

2.2.8 Shrnutí současného stavu rozvoje chytrého měření v Evropě na základě posuzovaného vzorku zemí

Na základě posuzovaných zemí je základním užitím dat z elektroměrů primárně správa sítě na straně DS a až sekundárně vlastní správa spotřeby zákazníkem. Větší granularita odečítaných dat může zlepšit možnosti PDS, avšak vzniká zde riziko úniků informací o spotřebě zákazníků, která už může být velmi citlivá (na základě patnáctiminutových údajů o spotřebě lze např. určit

¹ ÖSTERREICHS E-WIRTSCHAFT (OESTERREICHS ENERGIE). Datenblatt Smart Meter-Adapter. [Online]. 2022. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf](https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf)

kde se zákazník nachází nebo co v domácnosti právě dělá). PDS zpravidla nezveřejňují své vlastní využití těchto dat, a proto je obtížné posoudit jejich užitečnost.

Na úrovni komunikace nepanuje jednotná shoda. Je využíváno široké spektrum technologií, od PLC, přes bezdrátové LTE a GSM až po moderní protokoly typu WPAN nebo Ethernet (TCP/IP) a optické kabely.

Ve většině případů bývá komunikace prováděna ve dvou rovinách, v jedné zaměřené na zákazníka a v druhé na PDS. Většina zákazníků nevyužívá plné funkcionality chytrých elektroměrů (až na některé vzácnější případy), ale implementace tzv. IHD v domácnosti ukazuje na určité zvyšování uvědomění o vlastní spotřebě.

2.3 Aktualizace pro ČR

ČR je jednou z posledních zemí v EU, kde nebyl zahájen roll-out SM do začátku roku 2023. Je to důsledkem negativních výsledků CBA¹ (podobně jako např. v Německu), které byly vypracovány podle požadavků EU. V současnosti však probíhá rozvoj a příprava pro plánovaný roll-out chytrých elektroměrů v rámci ČR, přičemž jeho rámec určuje národní akční plán pro Smart Grids aktualizovaný pro období 2019-2030 (dále NAP SG 2018)².

2.3.1 Aktualizovaný národní akční plán pro Smart Grids a plánovaný rozvoj AMM v ČR

V NAP SG je popsána nutnost implementace AMM pro možnost realizace Smart Grids. V rámci NAP SG je také uveden realizační projekt (Zadávací list 13 – Implementace inteligentního měření), který je zaměřen na přípravu roll-outu v ČR. Příprava má dle NAP SG 2018 mít podobu stanovení jednotných podmínek a parametrů pro roll-out pro jednotlivé distribuční společnosti, a to zejména v oblastech kybernetické bezpečnosti, technických parametrů rozhraní pro zákazníka, analýzy kvality dat z chytrých elektroměrů, detekce mezifázových odběrů a metodiky hodnocení AMM technologií.

NAP SG 2018 uvádí jako hlavní přínosy zejména rozvoj trhu (např. díky flexibilitě na straně poptávky), usnadnění některých úkonů, jako je odpojení odběrného místa nebo odečet spotřeby, zlepšení možností odhalení netechnických ztrát, možnosti pro novou tarifní strukturu a v neposlední řadě také zvýšení informovanosti zákazníka.

¹ EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, Alaton, C., Tounquet, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 : final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/492070>

² ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU. Národní akční plán pro chytré sítě 2019 – 2030, aktualizace NAP SG. Praha: Ministerstvo průmyslu, 2019. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z www: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm>

Další aktualizací je jednání Think Tanku, které proběhlo 18. 1. 2021 ohledně implementace AMM v ČR¹.

Jiná, více aktuální jednání ohledně NAP SG se týkala zejména připojování decentralizovaných zdrojů k soustavě (26. 6. 2023), komunitní energetiky (1. 3. 2023) a dalších témat, která jsou v NAP SG zahrnuta, která jsou z hlediska AMM méně relevantní.

Mezi další aktuální oficiální informace související s plánovaným roll-outem patří také otevřená výzva MPO s názvem „Energetická infrastruktura – Smart Grids – AMM – výzva I.“, která je určena pro implementaci principů AMM, zejména nasazení chytrých elektroměrů a dalších zařízení na úrovni NN². Čerpat z ní mohou distribuční společnosti působící mimo Prahu a celkový objem této výzvy je až do výše 2 mld. Kč. Vzhledem k tomu, že je možné tuto výzvu čerpat do konce ledna 2024, prostředky v ní vynaložené mohou posloužit pro počáteční roll-out chytrých elektroměrů.

2.3.2 Zavádění chytrého měření v ČR

Dle plánu NAP SG je selektivní roll-out chytrých elektroměrů zamýšlený na rok 2024. Selektivním roll-outem je myšleno postupné osazování chytrých elektroměrů podobně, jako v zahraničí (z výše uvedených příkladů např. Německo). Zvoleným kritériem je spotřeba odběrného místa. Současný harmonogram má podobu uvedenou např. na stránkách ERÚ v koncepci propojení nového designu trhu v elektroenergetice s regulovanými cenami³:

- Přípravná fáze roll-outu do poloviny roku 2024
- Selektivní instalace SM od poloviny roku 2024 do poloviny roku 2027 (OM s roční spotřebou nad 6 MWh)
- Instalace zbývajících SM od poloviny roku 2027 v dalších deseti letech

Kromě OM se spotřebou nad 6 MWh jsou i další odběrná místa, která se mohou kvalifikovat pro instalaci chytrého elektroměru, například OM výrobního charakteru s výkonem výroby do 10 kW na úrovni NN (např. OM s domácí FVE). Dále mohou někteří provozovatelé elektroměrů zvolit další, vlastní kritéria, například spojené se sazbou. Pokud by byla osazena všechna OM s dvoutarifní sazbou, mohly by funkcionality chytrých elektroměrů nahradit stávající systém HDO.

¹ ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU. Jednání Think Tanku NAP SG 18. 1.2021. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/jednani-think-tanku-nap-sg-18-1-2021--259047/](https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/jednani-think-tanku-nap-sg-18-1-2021--259047/)

² AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE. Energetická infrastruktura – Smart Grids – AMM – výzva I. [online]. 2023. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.agentura-api.org/cs/podporovane-aktivita-optak/energeticka-infrastruktura-optak/energeticka-infrastruktura-smart-grids-amm-vyzva-i/](https://www.agentura-api.org/cs/podporovane-aktivita-optak/energeticka-infrastruktura-optak/energeticka-infrastruktura-smart-grids-amm-vyzva-i/)

³ ERÚ. Koncepce propojení nového designu trhu v elektroenergetice s regulovanými cenami. [online]. 2023. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.eru.cz/koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-regulovanymi-cenami](https://www.eru.cz/koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-regulovanymi-cenami)

Tento plán implementace je popsán do většího detailu v metodice zavádění SM z roku 2022¹, kde jsou identifikovány i další skupiny uživatelů, kterým by měly být instalovány chytré elektroměry dříve, než budou obměňovány běžnému odběrateli. Jedná se zejména o tyto skupiny:

1. odběratelé s vícetarifní sazbou,
2. členové energetických komunit (tj. zákazníci sdílející elektřinu),
3. odběratelé účastníci se trhu s výkonovou flexibilitou,
4. žadatelé o zřízení nového OM.

Tento plán implementace bude využit v kapitole 3 věnované zpracování dat z chytrého měření, kde bude uvažován základní scénář v podobě instalovaných chytrých elektroměrů na všechna OM s ročním odběrem vyšším než 6 MWh a s dvoutarifní sazbou.

2.3.3 Technologické parametry chytrých elektroměrů zaváděných v ČR

V dřívější době proběhlo několik pilotních projektů, ve kterých byly nainstalovány chytré elektroměry u běžných spotřebitelů, a které byly využívány mimo jiné i pro testování různých technologických parametrů zvažovaných chytrých elektroměrů.

Jako příklad lze uvést projekt Smaragd společnosti EG.D probíhající mezi roky 2017 a 2021² zahrnující přibližně 27 000 odběrných míst. Očekávaný roll-out bude probíhat ve větším rozsahu, např. dle tiskové zprávy společnosti ČEZ z roku 2020 bude mezi roky 2024 a 2026 instalováno přibližně 600 000 chytrých elektroměrů na distribučním území společnosti ČEZ Distribuce (z celkového počtu 3,7 milionu odběrných míst, které ČEZ Distribuce v ČR provozuje)³.

Společnost EG.D na svých stránkách uvádí příklady některých chytrých elektroměrů a návody určené pro jejich zákazníky, které již měly chytré elektroměry instalovány během pilotních projektů⁴. Jedná se o čtyři chytré elektroměry značky Landis+Gyr a jeden chytrý elektroměr značky Kamstrup. Tyto chytré elektroměry využívají různé způsoby komunikace, které jsou popsány v tabulce 2-1:

¹ ERÚ. Požadavky na smart metering v ČR z pohledu uživatele. [online]. 2022. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele](https://www.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele)

² EG.D. Projekt Smaragd, (2017 až 2021). [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.egd.cz/smaragd](https://www.egd.cz/smaragd)

³ SKUPINA ČEZ. Tisková zpráva „ČEZ Distribuce investuje do svých sítí do roku 2025 přes 83 miliard korun, z toho si digitalizace vyžádá přes 23 miliard korun“. [online]. 2020. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-distribuce-investuje-do-svych-siti-do-roku-2025-pres-83-miliard-korun-z-toho-si-digitalizace-vyzada-pres-23-miliard-korun-88485](https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-distribuce-investuje-do-svych-siti-do-roku-2025-pres-83-miliard-korun-z-toho-si-digitalizace-vyzada-pres-23-miliard-korun-88485)

⁴ EG.D. Návody k chytrým elektroměrům. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.egd.cz/navody-k-elektromerum#navody-k-chytrym-elektromerum-smart-metering](https://www.egd.cz/navody-k-elektromerum#navody-k-chytrym-elektromerum-smart-metering)

Tab. 2-1 Chytré elektroměry uváděné společnostmi EG.D

Označení	Společnost	Způsob komunikace
Omnipower	Kamstrup	444 MHz + Koncentrátor na delší vzdálenost (LTE)
E360-AD2D	Landis+Gyr	NB-IoT
E360-AM3D	Landis+Gyr	NB-IoT
ZCXi 120	Landis+Gyr	PLC komunikace
ZMXi 320	Landis+Gyr	PLC komunikace

Odečet může být v případě elektroměrů nejméně každých 15 minut, ač to v případě pilotních projektů nemusí být používáno (např. odečet zatím může probíhat pouze 1x denně). Zároveň mohou obsahovat kalendář spínání dvoutarifních sazeb, takže po jejich instalaci není nutné použití HDO. Zákazník zatím k údajům o spotřebě nejčastěji přistupuje přes online portál distributora.

Lze očekávat, že chytré elektroměry podobných parametrů (s jednotným zvoleným způsobem komunikace) budou instalovány v celém distribučním území společnosti EG.D. Nepodařilo se identifikovat podobné informace z ostatních distribučních území, ale obecně lze předpokládat podobný přístup k technologickým požadavkům na chytré elektroměry.

KAPITOLA 3: VÝPOČET PREDIKCE PRO DANÝ REGION

3.1 Popis problému

Cílem práce je zhodnotit, jak ovlivňuje množství osazených OM s chytrými elektroměry (SM) přesnost predikce spotřeby, kterou lze vytvořit na základě dostupných dat. V metodě by měly být nalezeny závislosti spotřeby odběrných míst osazených SM a dále by měly být aplikovány získané informace na predikci i těch OM, která osazená nejsou. Krajiní podmínky jsou určeny scénáři osazování SM, které vychází z vyhlášky č. 359/2020 Sb. o měření elektřiny¹ a z očekávaných úprav v legislativě.

3.1.1 Vstupní data

Vstupní data lze rozdělit do tří kategorií. Jedná se o:

- Změřené údaje z SM, které představují odečtené stavy elektroměru (Wh) v daném čase. Tyto údaje obsahují nepravidelné mezery a anomálie, protože účelem pilotních projektů, ze kterých data pochází, bylo mimo jiné i testování komunikace.
- „Kmenové“ údaje o OM, mezi které patří sazba OM, velikost jističe, počet fází a lokalita OM. Identifikačními parametry pro provázání kmenových údajů a změřených dat je ID odběrného místa (ve formátu např. ADX0012636434) a ID elektroměru (ve formátu např. 9110641743). Tyto údaje jsou dále doplněny o odečtený stav elektroměru (z dat pro fakturaci) z posledních let (cca do roku 2015), který je využit pro určení průměrné roční spotřeby daného odběrného místa.
- Údaje k dispozici z webu OTE, které zahrnují průběhy TDD pro rok 2019 pro jednotlivé kategorie TDD², normálové a denní teploty pro roky 2019³ a 2020⁴ a doplněné kalendářní údaje (pořadí dne v týdnu apod.).

Data byla upravena v MS Excel a Wolfram Mathematica. Pro agregaci a správu dat bylo využito SQL s pomocí MS Access databáze.

Roky 2019 a 2020 byly zvoleny, protože se jedná o poměrně „standardní“ roky, ve kterých není nutné očekávat příliš výrazné anomálie, které způsobila komplikovaná situace na trzích s energiemi v letech 2021 až 2023.

¹ ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Vyhláška č. 359/2020, o měření elektřiny. In: Sbírka zákonů. 2020, částka 146. Dostupné z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=38937>

² OTE. Normalizované TDD. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd?date=2019-01-01>

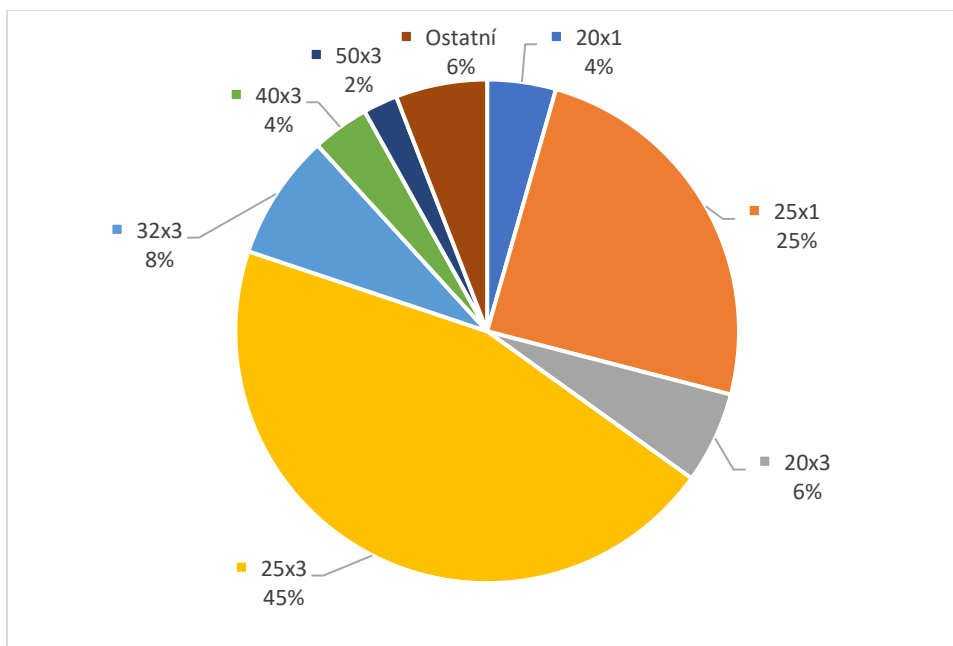
³ OTE. Teploty 2019. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2019-01-01>

⁴ OTE. Teploty 2020. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2020-01-01>

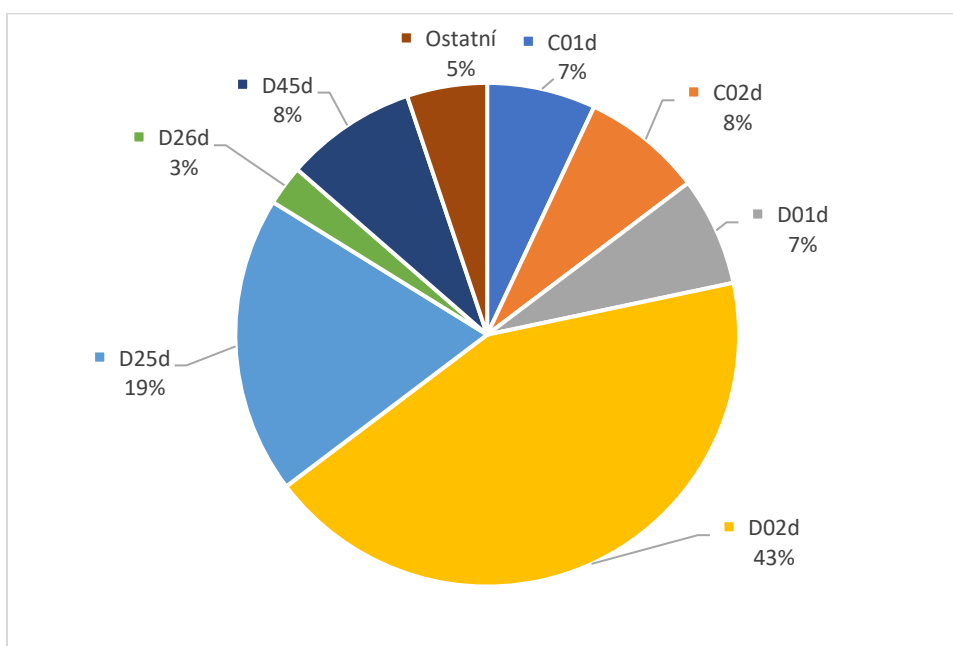
Data o spotřebě lze považovat za citlivé informace, proto byla pro zpracování anonymizována. V příloze B.1 jsou uvedeny příklady vstupních dat.

3.1.2 Charakterizace OM

Pro ilustrování charakteru odběrných míst, která byla použita v rámci této práce, jsou některé základní kmenové údaje celého vzorku OM shrnuty do obrázku 3-1 a do obrázku 3-2. Celkový počet poskytnutých OM je 272.



Obr. 3-1: Rozložení velikostí jističů v A pro poskytnutá OM



Obr. 3-2: Rozložení typů distribučních sazeb pro poskytnutá OM

Dle uváděných velikostí jističů je celkový instalovaný příkon studovaného vzorku OM roven přibližně 4 MW s celkovou spotřebou za rok 2019 přibližně 4 MWh. Z toho vyplývá, že monitorovaná OM většinu svého rezervovaného výkonu běžně nevyužívají (což může pramenit například z faktu, že některé domácnosti používají standardní jističe na 25 A – buď s třífázovým připojením, nebo s jednofázovým – bez ohledu na reálný příkon jejich spotřebičů.

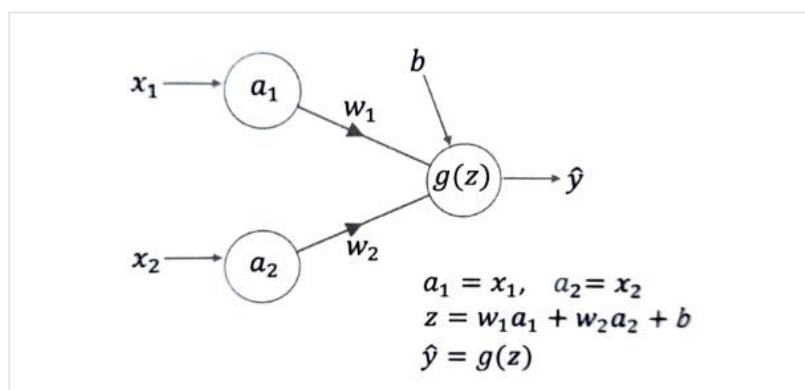
Většina OM, jak vyplývá z obrázku 3-2, má základní sazby D01d, D02d, C01d nebo C02d. Pouze méně než třetina OM má sazbu s dvěma tarify.

3.2 Metoda predikce s pomocí mělké sítě

3.2.1 Teoretický úvod

Základní metodou predikce je využití tzv. „*Cascade-forward Neural Network*“. Jedná se o umělou neuronovou síť, která umožňuje řešení nelineárních problémů na základě strojového učení. Vychází z jednodušší struktury s názvem „*Feed-forward Neural Network*“.

Umělá neuronová síť typu „*Feed-forward Neural Network*“ představuje řetězec jednotek, které aplikují vhodně zvolené funkce na vstupní data, jejichž výsledkem by měla být výstupní veličina (v tomto případě spotřeba daného odběrného místa v daném čase). Základní princip této metody lze popsat obrázkem 3-3.



Obr. 3-3: Model umělého neuronu¹

V tomto obrázku mají veličiny následující označení:

a_1, a_2 vstupy,

w_1, w_2 váhy,

b práh,

g aktivační funkce,

\hat{y} výstup.

¹ WILMOTT, Paul. *Machine learning: an applied mathematics introduction*. Panda Ohana Publishing, 2019. ISBN 9781916081604;1916081606;

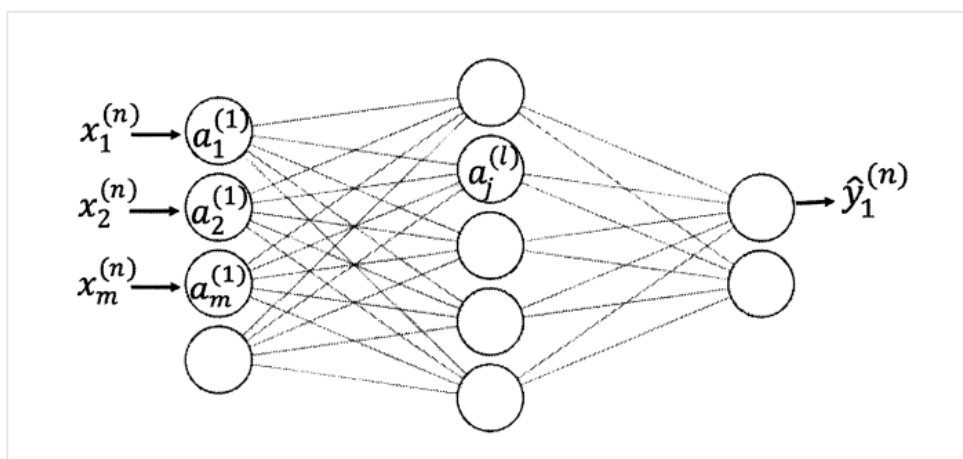
Tato funkční jednotka se nazývá umělý neuron a je popsána rovnicí 3-1.

$$\hat{y} = g(w_1 * x_1 + w_2 * x_2 - b) \quad (3-1)$$

Tuto rovnici lze přepsat pro počet vstupů od jedné do N, přičemž konstantu b lze uvádět s „+“ pro zjednodušení (v původní rovnici je „-“ kvůli biologickému modelu, ze kterého koncepce vychází).

$$\hat{y} = g\left(\sum_{i=1}^N (w_i * x_i) + b\right) \quad (3-2)$$

Umělá neuronová síť se skládá z většího množství těchto jednotek, kdy výstupy \hat{y} se stávají vstupy pro další vrstvy neuronů. Funkce g je zpravidla nelineární (používá se např. tanh, sigmoida nebo jiné speciální funkce s vhodnými vlastnostmi, mezi které patří i tzv. RELU – *rectified linear unit*, která má funkci prahové propusti a je svým tvarem podobná např. charakteristice diody). Princip vrstvení neuronů do neuronové sítě je vyobrazen na obrázku 3-4.



Obr. 3-4: Model jednoduché umělé neuronové sítě¹

Tzv. „učení“ neuronové sítě je automatické nastavování vah (a prahů) jednotlivých umělých neuronů tak, aby ze zadaných vstupů vycházely výstupy co nejbližší známým „učebním“ výsledkům. Pro učení je tedy nutné vhodné kritérium odchylky výstupů od učebních dat (např. střední kvadratická odchylka, střední absolutní odchylka nebo pokles křížové entropie), podle kterého se algoritmus při učení řídí. Celý proces učení je obecně hodnocen a kvantifikován s pomocí více různých ukazatelů, které se souhrnně nazývají hyperparametry.

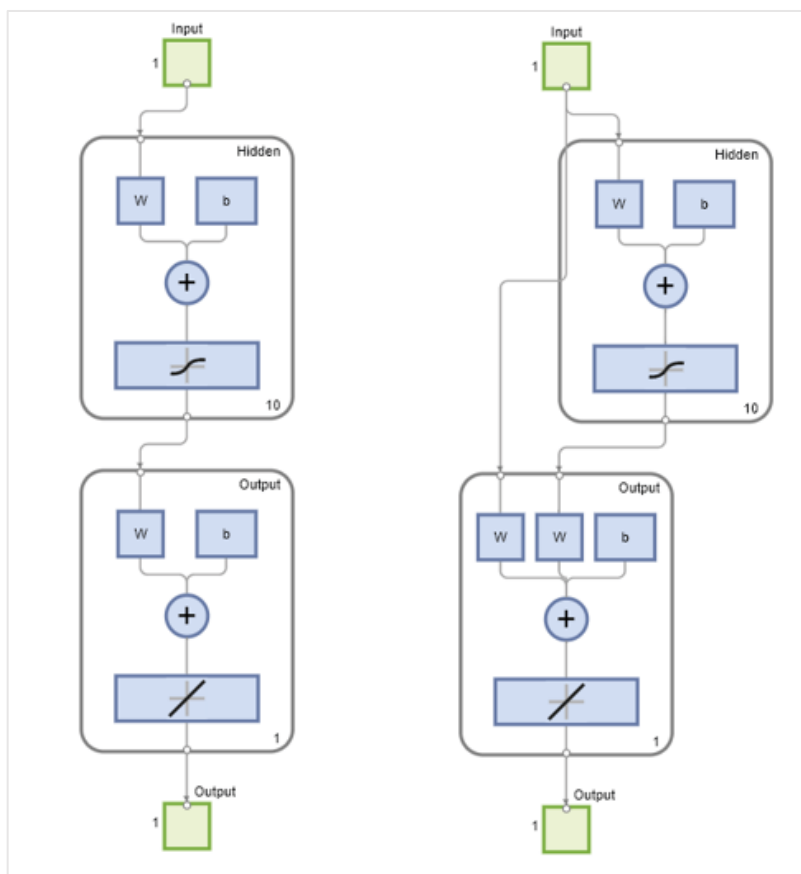
Proces učení probíhá, dokud není splněna předem daná podmínka. Jedná se např. o počet „epoch“, tedy počet učebních cyklů. Jeden učební cyklus zahrnuje jednu aplikaci neuronové sítě na celý učební soubor (všechny datové body). Další možností může být překonání určité hranice hyperparametru nebo překonání nastavené hodnoty gradientu hyperparametru.

¹ WILMOTT, Paul. *Machine learning: an applied mathematics introduction*. Panda Ohana Publishing, 2019. ISBN 9781916081604;1916081606;

Takto vytvořený systém s více než jednou vrstvou je schopen s dostatečným učebním souborem řešit i komplikované nelineární problémy.

Označení „*Cascading-forward*“ pouze určuje jiný způsob propojení jednotlivých vrstev neuronů, kdy prvotní vstupy mohou ovlivňovat i vrstvy umístěné hlouběji v síti. Tato struktura může při řešení určitých problémů dojít k výsledkům rychleji, než „*Feed-forward*“.

Porovnání obou struktur je uvedeno na dvojici diagramů (vlevo „*Feed-forward*“, vpravo „*Cascading-forward*“) na obrázku 3-5.



Obr. 3-5: „*Feed-forward Neural Network*“ (vlevo)¹ a „*Cascading-forward Neural Network*“ (vpravo)²

3.2.1.1 Problémy vyskytující se při použití ANN

Základním problémem při použití ANN je tzv. „overfitting“ a „underfitting“³. Při výskytu těchto problémů dochází k vytvoření nepřesného modelu, který nedosahuje dobrých výsledků

¹ THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Feedforward Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/feedforwardnet.html](https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/feedforwardnet.html)

² THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Cascade-forward Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/cascadeforwardnet.html](https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/cascadeforwardnet.html)

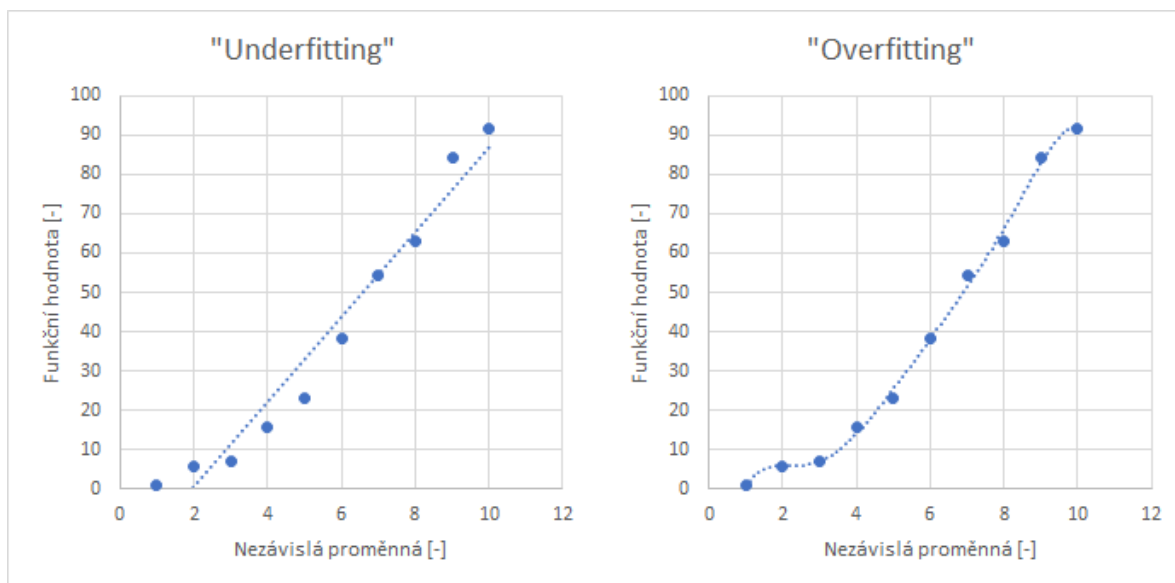
³ OSÍČKA, Petr. Strojové učení a deep learning. Matematika–fyzika–informatika. [online]. 2021. [cit.2023-03-02]. 30(2):133–145. Dostupné z: <https://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/541>

na nových datech. Může to být způsobeno např. nevhodnou volbou struktury modelu nebo nedostatečným množstvím učebních dat.

V případě „overfittingu“ dochází k příliš přesnému nastavení vah v modelu ANN. Naučený model je velice přesný na cvičebních datech, ale na jiných datech vykazuje daleko větší nepřesnosti. Model může být označován jako přeučeny.

V případě „underfittingu“ vykazuje model už v případě testovacích dat poměrně velké odchylky od žádaných výsledků, a tedy zvolená metoda a množství učebních dat nebyly pro přesné naučení modelu dostatečné. Model může být označován jako nedoučený.

Oba případy jsou ilustrovány na obrázku 3-6 s pomocí ukázky nevhodné regrese (regrese je v některých případech také vytvářena s pomocí ANN, v tomto případě se jedná pouze o ilustraci).



Obr. 3-6: Ilustrace underfittingu (vlevo) a overfittingu (vpravo), čárkovaně vyznačen výsledek ANN trpící příslušným problémem při odhadování funkce modře vyznačených známých bodů¹

3.2.2 Popis použití metody

Aplikace metody popsané v části 3.2.1 na problém této práce představuje v prvním kroku vytvoření učebních dat z kmenových údajů OM a ze změřených údajů z roku 2019. Neuronová síť je na datech z roku 2019 trénována do dosažení některého ze zvolených kritérií. Neuronové síti je poté předložena množina vlastností datových bodů pro rok 2020, jejímž výstupem by měla být predikce výkonu (resp. spotřeby energie) na rok 2020.

Vstupy neuronové sítě představují datové body, které lze charakterizovat jako „spotřeba daného odběrného místa v daném čase“. Atributy jednoho bodu jsou dány zaprvé odběrným místem:

- sazba,

¹ Zpracováno na základě: OSÍČKA, Petr. Strojové učení a deep learning. Matematika–fyzika–informatika. [online]. 2021. [cit.2023-03-02]. 30(2):133–145. Dostupné z: <https://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/541>

- velikost jističe,
- počet fází,
- lokalita,
- průměrná roční spotřeba.

A za druhé jsou dány časem spotřeby:

- pořadí minuty v hodině,
- pořadí hodiny ve dni,
- den v týdnu,
- normálová denní teplota v daném čase,
- skutečná denní teplota v daném čase.

Výstupem ANN (a tedy také učebními daty) je výkon přepočtený tak, aby ho bylo možné porovnávat mezi jednotlivými odběrnými místy. Proto je vyjádřen „normalizováním“ tak, aby nezáleželo na celkovém objemu odběru, ale na jeho průběhu v čase. K tomu je použito tzv. Z-skóre.

V rámci této práce je Z-skóre (standardizované skóre, standardní skóre) v daném čase t pro dané odběrné místo i je vypočteno dle vzorce 3-3.

$$z(t) = \frac{x(t) - \mu_i}{\sigma_i} \quad (3-3)$$

kde:

$z(t)$ z-skóre v čase t ,

$x(t)$ spotřeba v čase t ,

μ_i průměrná spotřeba odběrného místa i za rok,

σ_i směrodatná odchylka spotřeby odběrného místa i za rok.

Spotřeba je získána z naměřených dat jako rozdíl stavu elektroměru mezi dvěma časovými úseky. Data z chytrého měření byla dále upravena, aby neobsahovala „prázdná“ místa, měla pravidelné rozestupy (15 minut) a neobsahovala „anomálie“ (nejspíš vzniklé z chyb v komunikaci, např. momenty, kdy je zaznamenán pokles stavu elektroměru nebo nereálný skok nad výkonové možnosti OM). „Anomálie“ byly pouze odstraněny, bez nahrazování daty s pomocí regrese, aby „dosazená“ data neovlivnila učební proces.

S pomocí literatury a také testováním více možností nastavení před vytvořením finálního vypracování bylo zvoleno následující nastavení neuronové sítě:

- Struktura: „*Cascading-forward Neural Network*“
- Kritérium učení (chybová funkce): Suma kvadratických odchylek (SSE)
- Učební algoritmus: BR (*bayesian regularization backpropagation*)

- Počet vrstev: 3
- Nultá vrstva (vstupní): 10 vstupních příznaků
- První vrstva: 12 neuronů, aktivační funkce Tanh
- Druhá vrstva: 6 neuronů, aktivační funkce Tanh
- Třetí vrstva (výstupní): 1 neuron, lineární aktivační funkce
- Kritérium zastavení: 1000 epoch

Běžné statistické ukazatele, jako je např. střední kvadratická odchylka nebo výše použitá suma kvadratických odchylek, jsou zpravidla používány v případě regresních neuronových sítí. Počet neuronů by měl být řádově blízký počtu příznaků a měl by se s hloubkou sítě snižovat. Kritérií zastavení je defaultně nastaveno více¹, ale v případě této úlohy je málo pravděpodobné, že by bylo např. dosaženo velmi nízké hodnoty kritéria učení nebo jejího gradientu. To je způsobeno náhodností některých datových bodů (chování spotřebitelů nelze zcela přesně predikovat)².

V případě, že je použit scénář, kdy není „osazeno“ 100 % OM s chytrými elektroměry, pak jako učební vstup slouží pouze datové body těch OM, která jsou považována za „osazená“.

Predikce je vypočtena pro všechny datové body, tedy i pro ta OM, která „osazená“ nejsou. Výsledkem je predikce Z-skóre spotřeby pro všechna OM pro rok 2020 v rozsahu všech bodů spotřeby, která jsou k dispozici. K některým bodům v roce 2020 chybí skutečná spotřeba (např. kvůli testování komunikací). Pro takové body nebyla spotřeba vypočtena, protože by nebylo možné ověřit přesnost predikce.

Pro odhad průměrné spotřeby μ a směrodatné odchylky spotřeby σ za rok 2019 u OM, která nejsou „osazena“ chytrými elektroměry je použito TDD. K výpočtu je využita znalost celkové roční spotřeby za rok 2019, s pomocí které lze přepočítat TDD na „odhad“ průběhu spotřeby „neosazených“ OM. Výpočet odhadu spotřeby s pomocí TDD je proveden dle vzorce 3-4.

$$O(t) = \frac{TDD_i(t)}{\sum_{t=0}^{8760} TDD_i(t)} * E_i \quad (3-4)$$

kde:

$O(t)$ odhad spotřeby v hodině t ,

$TDD_i(t)$ koeficient TDD pro sazbu i -tého odběrného místa,

E_i celková roční spotřeba odběrného místa i .

¹ Plný popis ukončovacích podmínek je uveden v popisu použité učební funkce, viz: THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Bayesian regularization backpropagation. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainbr.html>

² Založeno na práci s dokumentací MathWorks Matlab: THE MATHWORKS. Návod SW Matlab, Fit Data with a Shallow Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/gs/fit-data-with-a-neural-network.html>

Na základě tohoto vzorce lze spočítat odhad μ_i a σ_i , které jsou nutné pro interpretaci výsledků neuronové sítě a přepočtení těchto výsledků na hodnoty ve Wh. Tímto způsobem, kdy nejsou „neosazená“ OM nahrazena (např. s pomocí TDD), ale jednoduše vynechána z učebního procesu, je zajištěno, že se průběh TDD negativně nepromítne do predikce.

3.2.3 Popis vypracování metody

Aplikace výše uvedené metody probíhala způsobem, který je popsán v této části.

Nejprve byla zpracována dostupná data. Soubory tabulek (.xlsx, .csv apod.) byly přepsány do formátu, který je vhodný pro import do MS Access databáze, a byly doplněny o kalendářní údaje. Textové atributy (např. lokalita, sazba) dostaly přiřazena čísla, aby bylo možné je vložit jako vstupy do umělé neuronové sítě.

Poskytnutá data ze SM byla sjednocena do sešitu MS Excel do kontingenční tabulky tak, aby mohla být nastavena uvažovaná granularita dat (15 minut). Údaje o čase (*timestamp*) byly přepočteny na celé číslo (počet minut), aby byla snížena výpočetní náročnost a vliv zaokrouhlovací chyby.

Data ze sešitu MS Excel byla importována do sešitu Wolfram Mathematica, ve kterém byly provedeny náročnější matematické operace, jako je očištění dat o anomálie a výpočet průměrné spotřeby v daném časovém úseku ze stavu elektroměru při vyšší granularitě poskytnutých dat. Pro průběh spotřeby byla vypočtena směrodatná odchylka, průměrná hodnota a celková roční spotřeba za rok 2019 u každého OM.

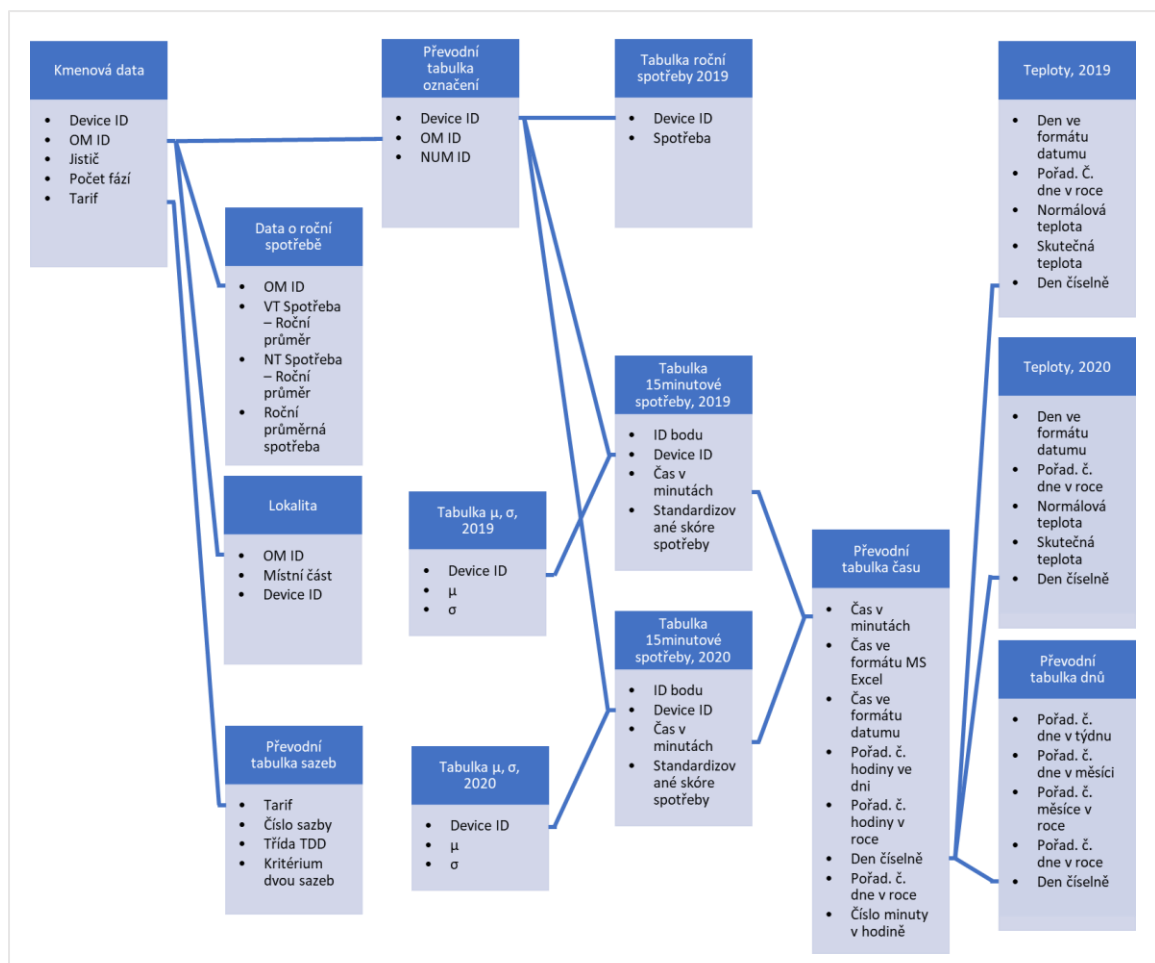
Dále byl vytvořen rozsáhlý soubor spotřeb typu .csv, který obsahoval základ učebního souboru (tj. daný čas a dané odběrné místo) o přibližně 5 milionech řádků. Síť tedy byla učena na přibližně 5 milionech datových bodů (po jejich dalším zpracování).

Celkem bylo vytvořeno 16 vstupních souborů pro model ANN. Vzniklé vstupní soubory jsou shrnuty v tabulce 3-1.

Tab. 3-1 Seznam vstupních souborů pro tvorbu učebního souboru

Soubor	Popis souboru
TDD	Tabulka μ , σ a sumy koeficientů pro TDD pro rok 2019
Kmenová data	Údaje o OM (device ID, sazba, jistič...)
Převod sazeb	Přiřazení čísel k jednotlivým sazbám
Tabulka ročních spotřeb 2019	Tabulka celkové spotřeby všech OM za rok 2019
Tabulka ročních spotřeb 2020	Tabulka celkové spotřeby všech OM za rok 2020
Tabulka prům. roční spotřeby	Tabulka prům. celkové roční spotřeby všech OM (2015 -2019)
Tabulka μ, σ 2019	Tabulka μ a σ spotřeby pro jednotlivá OM pro rok 2019
Tabulka μ, σ 2020	Tabulka μ a σ spotřeby pro jednotlivá OM pro rok 2020
Data o lokalitě	Přiřazení lokality k jednotlivým OM (z kmenových dat)
Spotřeba 2019	Tabulka spotřeb jednotlivých OM po 15 minutách za rok 2019
Spotřeba 2020	Tabulka spotřeb jednotlivých OM po 15 minutách za rok 2020
Tabulka propojení dne a času	Tabulka pořadí hodin, minut apod. v rámci roku
Převod OM ID a Device ID	Přiřazení čísel k OM ID a Device ID
Teploty 2020	Tabulka normálových a skutečných teplot za rok 2020
Teploty 2019	Tabulka normálových a skutečných teplot za rok 2019
Tabulka kalendáře dnů	Přiřazení údajů o dnech (den v týdnu) k dnům v průběhu roku

Všechny výše uvedené soubory byly importovány do databáze MS Access a mezi nimi byly vytvořeny relace, které jsou znázorněny na obrázku 3-7. Na obrázku jsou vyznačeny i některé parametry nebo označení, které byly použity v procesu vytváření databáze (např. NUM ID je číselné označení počítané od nuly pro jednotlivá OM pro jejich snadnější identifikaci) a některé tabulky mají duplicitní vlastnosti (např. jak identifikátor OM ID, tak identifikátor Device ID), které jsou dány formátem vstupních dat.



Obr. 3-7: Relační struktura vstupních souborů

Z této relační struktury byl s pomocí Tvůrce dotazu vytvořen základ pro vstup do umělé neuronové sítě. Jednalo se o 2 soubory, jeden pro rok 2019 a druhý pro rok 2020.

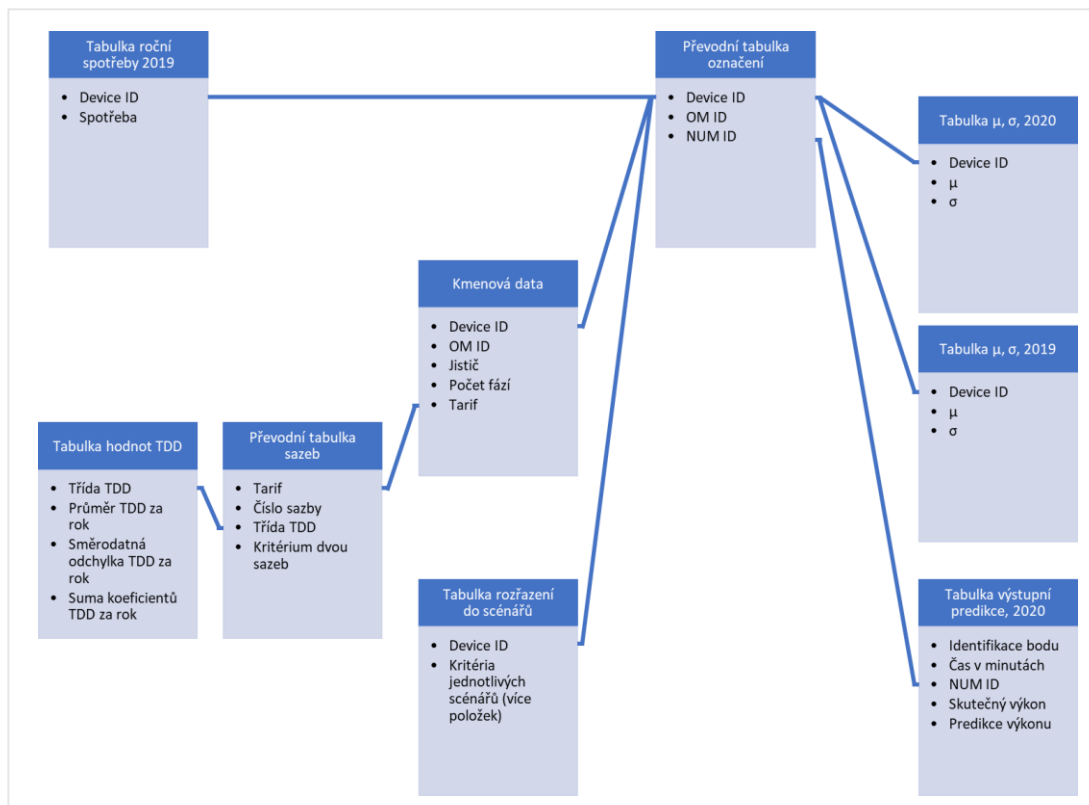
Výsledné soubory byly poté importovány do SW Matlab, kde byly rozděleny na 10 příznaků a 1 výstup. Následně byla vytvořena umělá neuronová síť se strukturou popsanou v části 3.2.2. Po proběhnutí procesu učení na datech z roku 2019 byly do umělé neuronové sítě vloženy atributy za rok 2020 a vytvořena predikce pro rok 2020. Pro první test metody byly zvoleny dva základní scénáře. Jeden, ve kterém je uvažováno osazení OM s dvoutarifní sazbou nebo spotřebou nad 6 MWh ročně, a druhý, ve kterém je uvažováno osazení všech OM.

V případě scénáře bez 100 % OM „osazených“ elektroměry byla v rámci MS Access vytvořena tabulka, která dle parametrů OM rozhodovala o přiřazení nebo nepřiřazení do učebního souboru („Tabulka rozřazení do scénářů“).

Pro první vstupní scénář byla do učebního souboru vložena všechna OM s dvoutarifní sazbou anebo se spotřebou za rok 2019 nad 6 MWh.

Výsledky ANN byly následně importovány do výstupní databáze MS Access za účelem zpracování a interpretace dat. Relační struktura výstupní databáze je uvedena na obrázku 3-8. Tato struktura obsahuje i některé nadbytečné nebo pouze informační údaje, například další

scénáře, které nakonec nebyly posuzovány z důvodu jejich nízké informační hodnoty (např. dělení dle lokalit, které byly pouze dvě).



Obr. 3-8: Relační struktura výstupních souborů

V rámci této databáze byl proveden přepočít predikovaného Z-skóre na spotřebu dle vzorce odvozeného z definice Z-skóre (dle rov 3-3), který je uveden v rovnici 3-5.

$$x(t) = z(t) * \sigma_i + \mu_i \quad (3-5)$$

kde:

$z(t)$ z-skóre v čase t ,

$x(t)$ spotřeba v čase t ,

μ_i průměrná spotřeba odběrného místa i za rok,

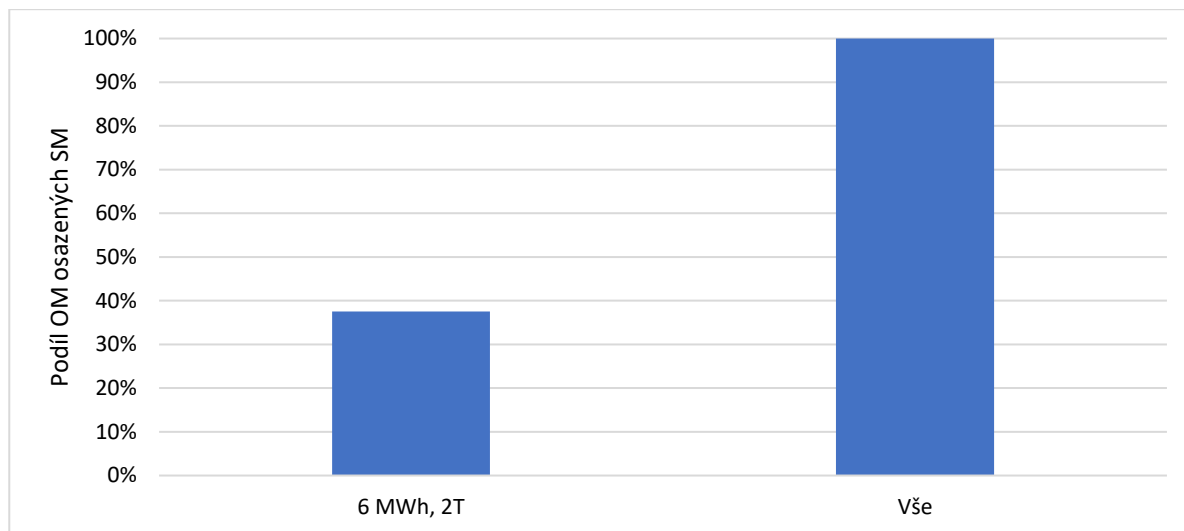
σ_i směrodatná odchylka spotřeby odběrného místa i za rok.

Pro průměrnou spotřebu μ_i a směrodatnou odchylku σ_i byla použita buď vypočtená hodnota ze změřených údajů (v případě „osazených“ OM) nebo přepočtená hodnota z průběhu TDD s pomocí známé roční spotřeby daného OM (v případě „neosazených“ OM). Ve všech případech je predikce prováděna v standardním skóre vztaženém na průměrnou spotřebu a směrodatnou odchylku v roce 2019, a proto i pro přepočít do roku 2020 jsou použity hodnoty μ_i a σ_i z roku 2019.

3.3 Výsledky predikce s pomocí ANN

3.3.1 Základní („krajní“) scénáře

V rámci predikce byly uvažovány základní dva scénáře, jejichž zastoupení „osazených“ OM je uvedeno na obrázku 3-9:



Obr. 3-9: Porovnání dvou základních (krajních) scénářů

Pro hodnocení predikce byl použit zejména ukazatel MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*):

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3-5)$$

kde:

$MAPE$ střední absolutní procentuální odchylka,

n počet časových úseků t (tj. počet bodů predikce),

A_t skutečná hodnota predikované veličiny v čase t ,

F_t hodnota predikce predikované veličiny v čase t .

Další použité koeficienty zahrnují MAE (*Mean Absolute Error*) dle vzorce 3-6.

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n |F_t - A_t| \quad (3-6)$$

kde:

MAE střední absolutní odchylka,

n počet časových úseků t (tj. počet bodů predikce),

A_t skutečná hodnota predikované veličiny v čase t ,

F_t hodnota predikce predikované veličiny v čase t .

Dále je použit koeficient MSE (*Mean Squared Error*) dle vzorce 3-7.

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2 \quad (3-7)$$

kde:

MSE střední kvadratická odchylka,

n počet časových úseků t (tj. počet bodů predikce),

A_t skutečná hodnota predikované veličiny v čase t ,

F_t hodnota predikce predikované veličiny v čase t .

Z MSE je odvozen ukazatel RMSE (*Root-Mean-Square Error*) dle vzorce 3-8.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2} \quad (3-8)$$

kde:

$RMSE$ odmocnina střední kvadratické odchylky,

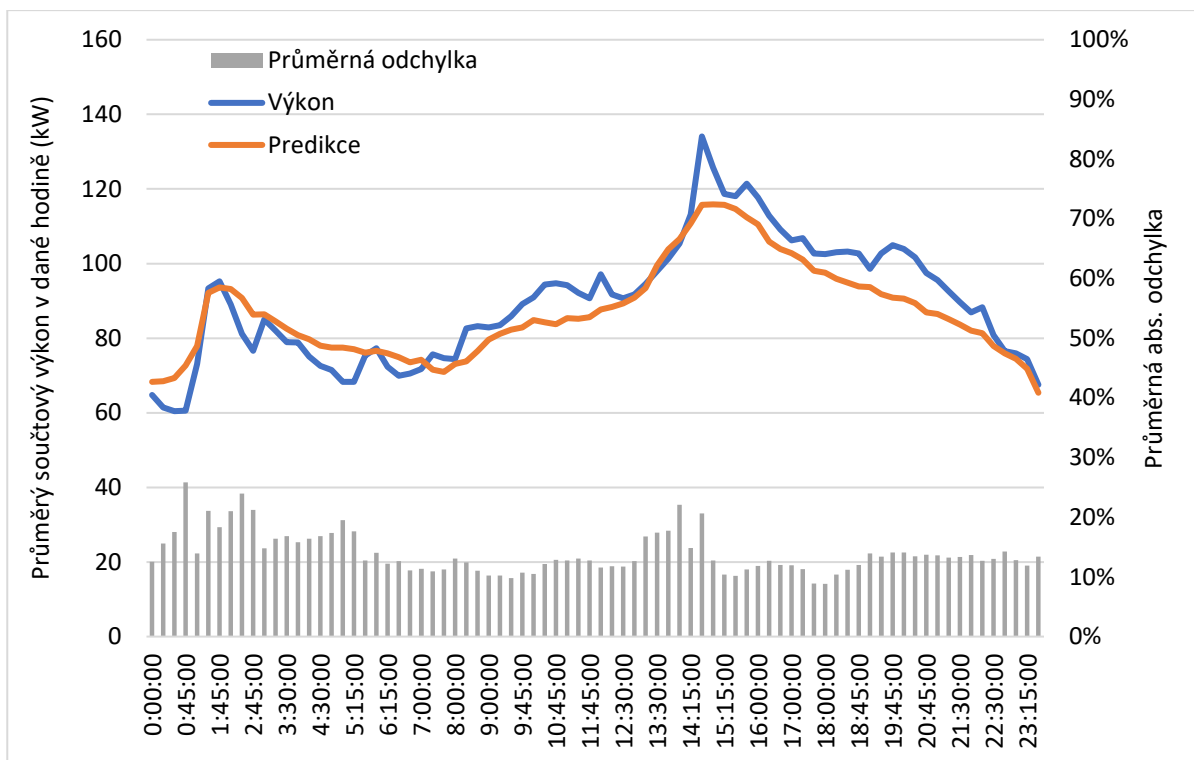
n počet časových úseků t (tj. počet bodů predikce),

A_t skutečná hodnota predikované veličiny v čase t ,

F_t hodnota predikce predikované veličiny v čase t .

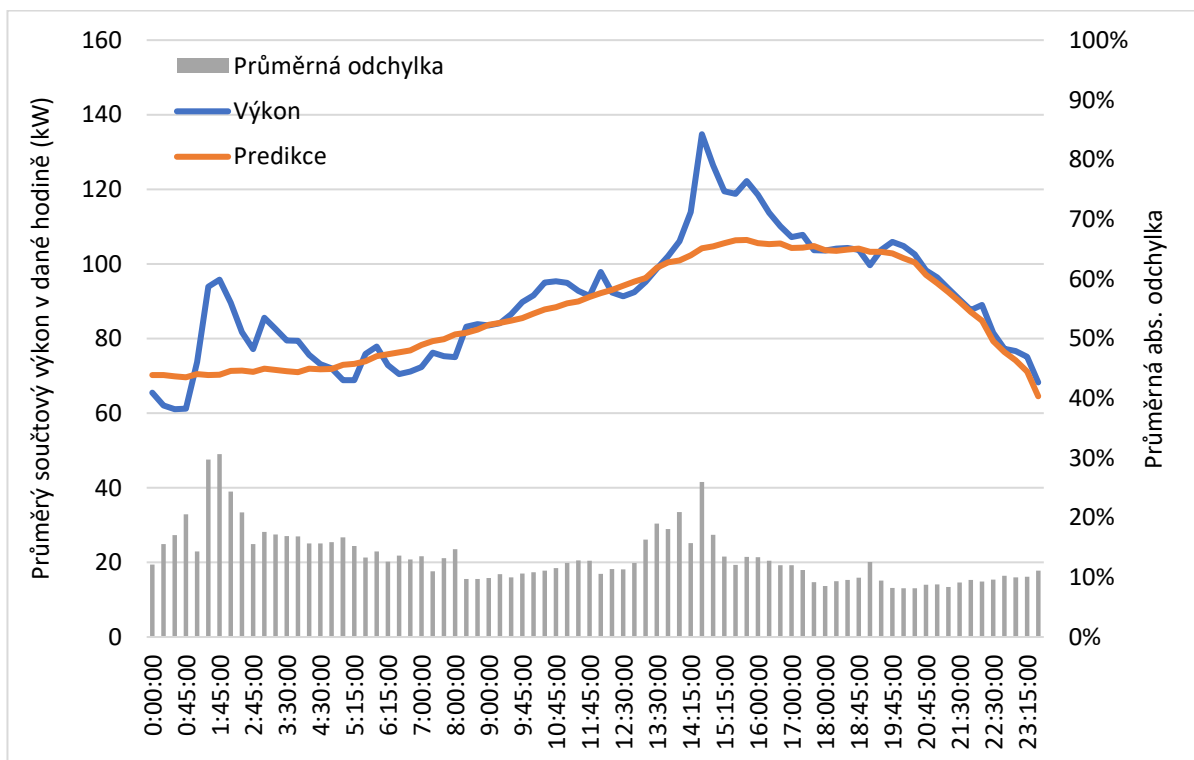
Jako další ukazatel přesnosti predikce byla vypočtena průměrná součtová skutečná spotřeba přes všechna OM a průměrná součtová spotřeba (resp. výkon) predikce pro jednotlivé hodiny dne. Tímto způsobem byl vytvořen graf „průměrného dne“ pro vizuální porovnání obou scénářů a zhodnocení jejich přesnosti.

Graf pro predikci scénáře „osazených“ OM s dvoutarifní sazbou je uveden na obrázku 3-10.



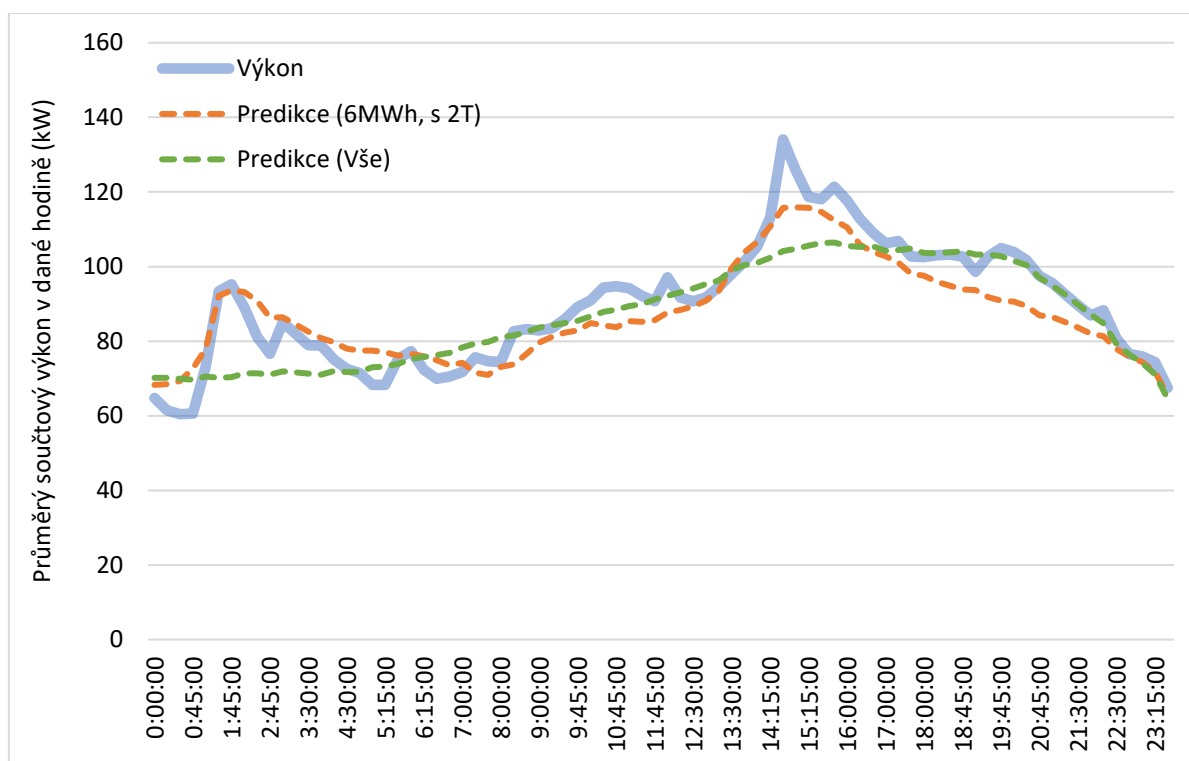
Obr. 3-10: Výsledek predikce pro scénář OM s dvoutarifní sazbou a spotřebou větší než 6 MWh

Graf pro predikci scénáře všech OM „osazených“ je uveden na obrázku 3-11.



Obr. 3-11: Výsledek predikce pro scénář všech OM

Vizuální porovnání obou predikcí je uvedeno v grafu na obrázku 3-12.



Obr. 3-12: Porovnání predikce v základní dvojici scénářů

Číselné porovnání obou predikcí je uvedeno v tabulce 3-2. Pro porovnání je použit zejména parametr MAPE popsáný rovnicí 3-5 a další ukazatele tak, jak jsou popsány v rovnicích 3-6 až 3-8. Ukazatele jsou počítány pro predikci součtového výkonu všech OM v každém bodě. Ukazatele MAE, MSE a RMSE byly zvlášť spočteny pro bezrozměrné predikce (tj. ze Z-skóre). Navíc byly spočteny i parametry MAPE, MAE a RMSE z přepočtených hodnot (tj. z hodnot součtového výkonu ve W).

Tab. 3-2 Porovnání číselných parametrů základních scénářů

Parametr	Scénář „6 MWh, s 2T“	Scénář „Vše“
MAE (z bezrozměrných)	37,31	14,49
MSE (z bezrozměrných)	2477,03	376,74
RMSE (z bezrozměrných)	49,77	19,41
MAE (z přepočtených)	11703 W	11838 W
RMSE (z přepočtených)	15320 W	16701 W
MAPE (z přepočtených)	13,97 %	13,46 %

Z těchto výsledků nelze jednoznačně říct, který osazovací scénář je lepší, ač lze alespoň usoudit, že zvyšování počtu osazených míst zlepší predikci celkového součtového výkonu.

Jedním ze závěrů je fakt, že i když koeficienty vypočtené z bezrozměrné predikce (tj. před přepočtem ze Z-charakteristiky) se zlepšily se zvýšením počtu OM, po provedení výpočtu těchto parametrů na přepočtené hodnoty (tj. reálné spotřeby), dochází spíše ke zhoršení. Z toho lze vyvodit, že prosté zvýšení počtu OM, pokud osazujeme od největších spotřebitelů k nejmenším, nezlepší nutně výsledky predikce, pokud data nejsou předem zpracována a některá z dat například odstraněna z procesu učení v případě jejich příliš velké „náhodnosti“.

S ohledem na cíl práce lze dále postupovat vytvořením více scénářů osazování, díky kterým bude možné lépe sledovat vliv osazování jednotlivých OM na sledované parametry.

Podle průběhů na obrázku 3-9 lze předpokládat, že větší množství OM do určité míry „vyhlazuje“ přesnost predikce, protože do učebního souboru vstupují také spotřebně menší OM, která mají více chaotický průběh, a tedy je těžší identifikovat jejich profil chování.

Pro další zhodnocení je použito zejména ukazatele MAPE.

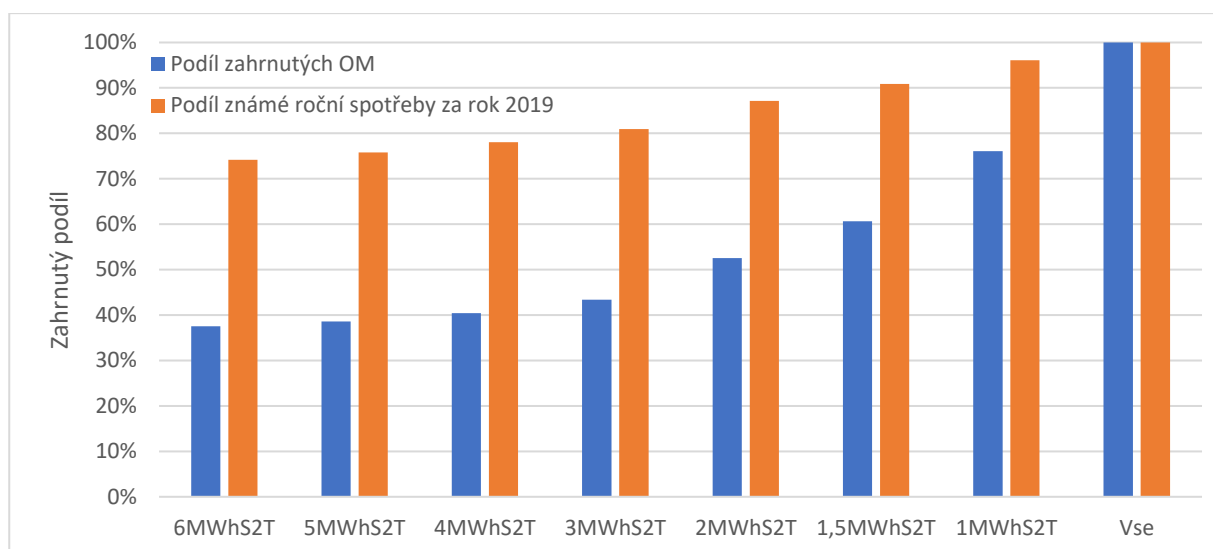
3.3.2 Volba a zpracování „meziscénářů“

Scénáře se liší dle OM, která byla „známá“, tj. „osazená“ za rok 2019, a tedy vstupovala do učebního procesu. Predikce byla vždy vypracována pro všechna OM (tj. celkem pro 272 OM). Kritérium výběru OM bylo po konzultaci s PREdistribuce, a. s. stanoveno jako roční spotřeba OM za minulý rok. Zvažována byla také lokalita či sazba, ale z hlediska možných scénářů osazování OM chytrými elektroměry je roční spotřeba nejpřístupnější. Zvolené scénáře jsou popsány v tabulce 3-3.

Tab. 3-3 Popis všech použitých scénářů

Číslo scénáře	Označení scénáře	Popis OM zahrnutých ve scénáři
1	6MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 6 MWh.
2	5MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 5 MWh.
3	4MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 4 MWh.
4	3MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 3 MWh.
5	2MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 2 MWh.
6	1,5MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 1,5 MWh.
7	1MWhS2T	OM s 2T sazbou a roční spotřebou za rok 2019 vyšší než 1 MWh.
8	Vse	Všechna OM, která jsou k dispozici

Scénáře se liší množstvím osazených OM a zároveň také tím, jak velká část celkové spotřeby za rok 2019 „je známá“ pro účely predikce. Procentuální zastoupení jak z hlediska absolutního počtu OM, tak z hlediska podílu známé spotřeby za rok 2019 shrnuje následující graf na obrázku 3-13.



Obr. 3-13: Porovnání podílů počtu OM a „známé“ roční spotřeby za rok 2019 pro jednotlivé scénáře

Je vhodné se zaměřit na další ukazatel, který by mohl demonstrovat rozdíly mezi scénáři. Většina statistických parametrů, např. MAPE, je založená na střední hodnotě či odchylce od střední hodnoty. Tímto hodnocení jsou upřednostňovány ty metody predikce, které dosahují v průměru nejlepších výsledků, i za cenu např. častějšího nízkého odchýlování od skutečnosti nebo občasného, ale vyššího odchýlení od skutečnosti.

V rámci energetiky může být účelnější sledovat, jak často dochází k hrubému odchýlení reality od predikce. Určité malé odchylky jsou v případě reálné spotřeby očekávatelné, avšak predikce by měla být schopná následovat maxima a minima spotřeby a dobře je predikovat za účelem snížení velikosti vznikajících odchylek.

Jako „hranice“, za kterou považujeme predikci pro daný bod jako příliš nepřesnou, byla zvolena hodnota 20 % (na základě konzultace s poskytovatelem dat, PREDistribuce, a. s.). Pokud je tedy reálně odebraná energie o 20 % menší nebo větší než predikce, jedná se o překročení. Jako ukazatel poslouží průměrný počet překročení za celý datový soubor. Parametr průměrného překročení predikce (zvolena zkratka PPP±20%) tedy popisuje podíl datových bodů (patnáctiminutových úseků), které překročily zvolenou hranici. Koeficient je popsán rovnicí 3-9.

$$PPP \pm 20\% = \frac{\sum_{i=1}^N k_i}{N} \quad (3-9)$$

kde:

PPP ± 20 průměr překročení predikce o ±20 %

N počet všech bodů predikce (tj. patnácti minutových úseků),

k_i i-tý bod splňující podmínku: $P(n_i) > 1,2 \cdot F(x_i) \vee P(n_i) < 0,8 \cdot F(x_i)$

$F(x_i)$ hodnota predikce v i-tém intervalu, tj. v i-tém bodě predikce,

$A(x_i)$ hodnota výkonu v i-tém intervalu, tj. v i-tém bodě predikce.

Podobně jako v případě MAPE, čím je průměr překročení nižší, o tím lepší výsledek se pro danou predikci jedná.

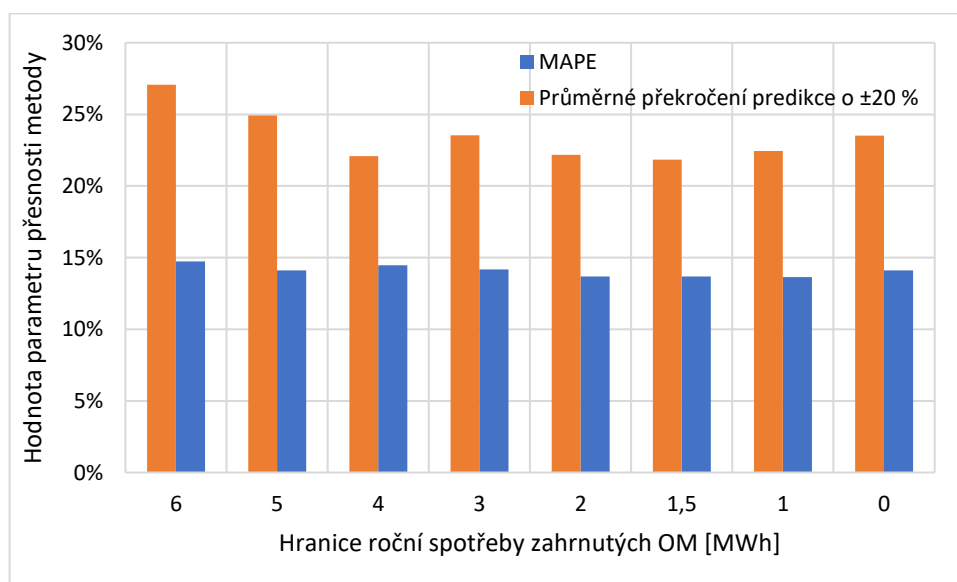
Dále byla provedena predikce s pomocí ANN pro všechny scénáře uvedené v tabulce 3-3. Výsledky predikcí jsou uvedeny v tabulce 3-4 spolu s dříve uvedenými parametry jednotlivých scénářů.

Tab. 3-4 Popis výsledků prvního běhu učení jednotlivých scénářů

Hranice roční spotřeby za rok 2019 zahrnutých OM [MWh]	6	5	4	3	2	1,5	1	0
Podíl osazených OM	37,50 %	38,60 %	40,44 %	43,38 %	52,57 %	60,66 %	76,10 %	100,00 %
Podíl osazených OM z hlediska roční spotřeby 2019	74,21 %	75,82 %	78,04 %	80,96 %	87,12 %	90,89 %	96,12 %	100,00 %
MAPE	14,74 %	14,12 %	14,46 %	14,17 %	13,68 %	13,69 %	13,64 %	14,11 %
Průměrné překročení predikce o $\pm 20\%$ (PPP $\pm 20\%$)	27,07 %	24,93 %	22,09 %	23,54 %	22,18 %	21,84 %	22,45 %	23,52 %

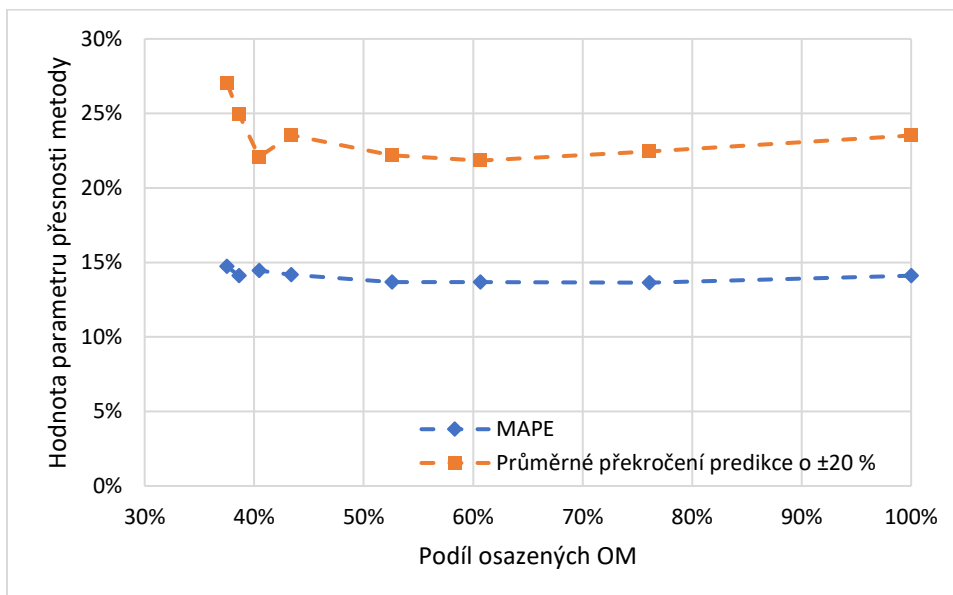
Na základě této tabulky lze vytvořit grafy výsledků, které popisují nejen rozdíly mezi jednotlivými scénáři, ale také vliv procentuálního „osazení“ OM a také vliv toho, jak velká část OM z hlediska kritéria jejich roční spotřeby je osazena. To je vyjádřeno jako podíl součtové spotřeby osazených OM k celkové součtové spotřebě za rok 2019.

Výsledky shrnuté podle scénářů jsou uvedeny na grafu na obrázku 3-14.

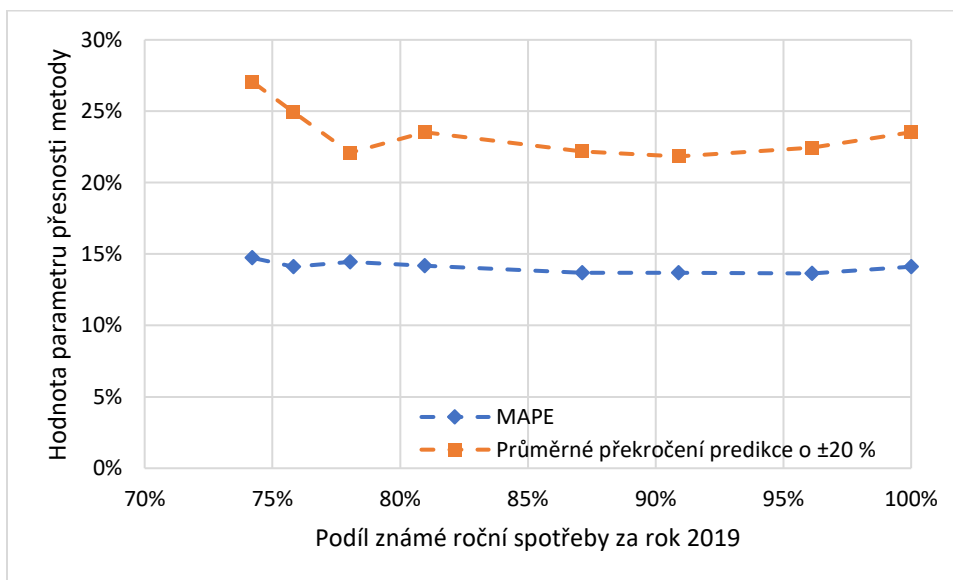


Obr. 3-14: Porovnání ukazatelů PPE $\pm 20\%$ a MAPE pro 8 zvolených scénářů

Na obrázku 3-15 je uvedena závislost sledovaných ukazatelů na „osazenosti“ OM. Na grafu na obrázku 3-16 je uvedena obdobná závislost tentokrát ve vztahu k tomu, jak velká část OM je „osazena“, pokud je posuzujeme podle celkové roční spotřeby na místo prostého počtu „osazených“ OM.



Obr. 3-15: Porovnání ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů v závislosti na podílu osazených OM



Obr. 3-16: Porovnání ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů v závislosti na podílu známé roční spotřeby za rok 2019

Tyto hodnoty ale představují pouze výsledek jednoho tréninku. Vzhledem k určité náhodnosti v procesu učení mohou vznikat rozdíly mezi dvěma různými běhy učení. I proto mohou být výsledky jediného běhu poměrně málo vypovídající. V praxi je v případě ANN

používáno desítek či stovek učebních běhů a využita je ta ANN s nejlepšími výsledky z celého procesu.

Aby byla alespoň částečně zahrnuta různorodost učebního procesu do této metody, bylo provedeno pro každý scénář deset celých učebních běhů. Díky tomu může být na základě průměru a směrodatné odchylky ukazatelů sestaven graf, který poskytuje přesnější informaci o existenci trendů, které vychází z počátečních podmínek.

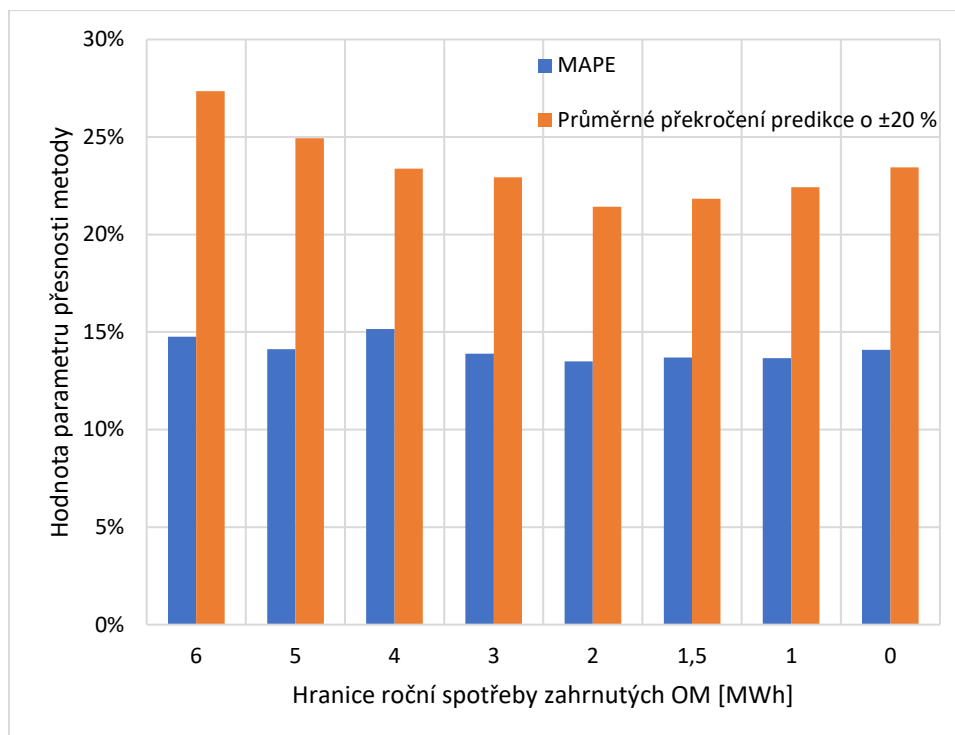
Výsledky jsou shrnuty s pomocí průměrných, minimálních a maximálních hodnot parametru MAPE a PPP±20%). Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3-5. Za první z deseti učebních běhů byla použita predikce uvedená výše (tabulka 3-4, obrázky 3-17 až 3-19).

Tab. 3-5 Popis výsledků deseti běhů učení jednotlivých scénářů

Hranice roční spotřeby za rok 2019 zahrnutých OM [MWh]	6	5	4	3	2	1,5	1	0
Podíl osazených OM	38 %	39 %	40 %	43 %	53 %	61 %	76 %	100 %
Podíl osazených OM z hlediska roční spotřeby 2019	74 %	76 %	78 %	81 %	87 %	91 %	96 %	100 %
MAPE – Průměr	0,148	0,141	0,152	0,139	0,135	0,137	0,137	0,141
MAPE – Min.	0,147	0,140	0,144	0,138	0,134	0,137	0,136	0,141
MAPE – Max.	0,148	0,142	0,167	0,142	0,137	0,137	0,137	0,141
PPP±20% – Průměr	0,273	0,249	0,234	0,229	0,214	0,218	0,224	0,235
PPP±20% – Min.	0,271	0,242	0,220	0,227	0,211	0,218	0,224	0,234
PPP±20% – Max.	0,275	0,253	0,260	0,235	0,223	0,219	0,225	0,235

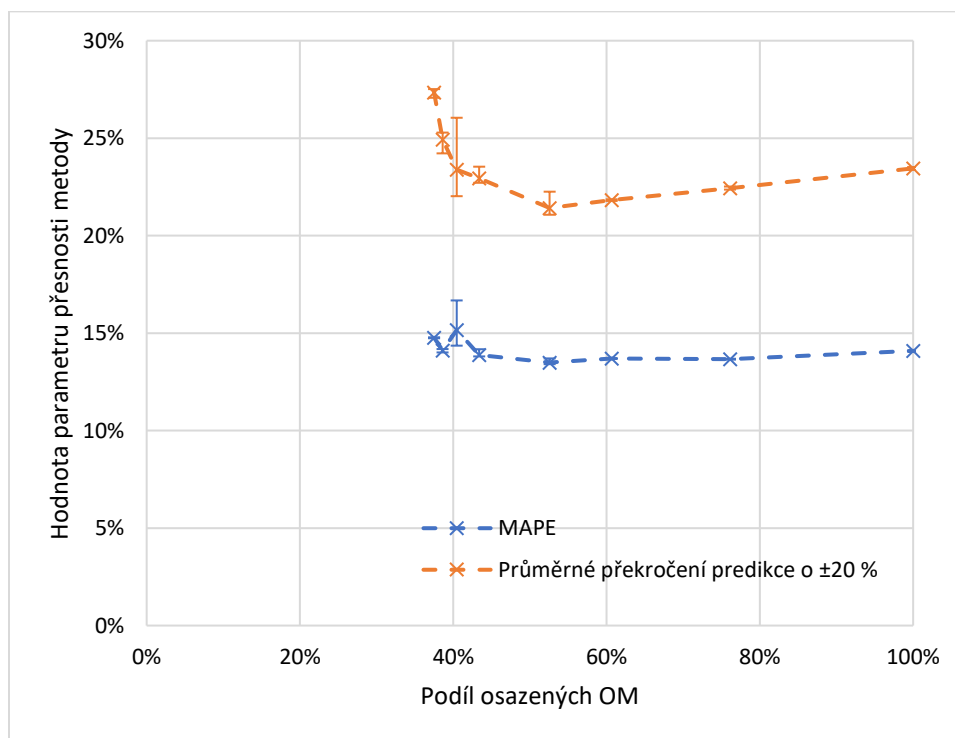
Z těchto výsledků lze sestavit grafy, které ukazují stejné výsledky, jako výše, ale se zahrnutím určité náhodnosti procesu učení.

Obrázek 3-17 ukazuje pouze změnu parametrů v jednotlivých scénářích. Obrázky 3-18 a 3-19 ukazují změnu parametrů v závislosti na podílu osazených OM, resp. na podílu osazených OM z hlediska součtové spotřeby za rok 2019.

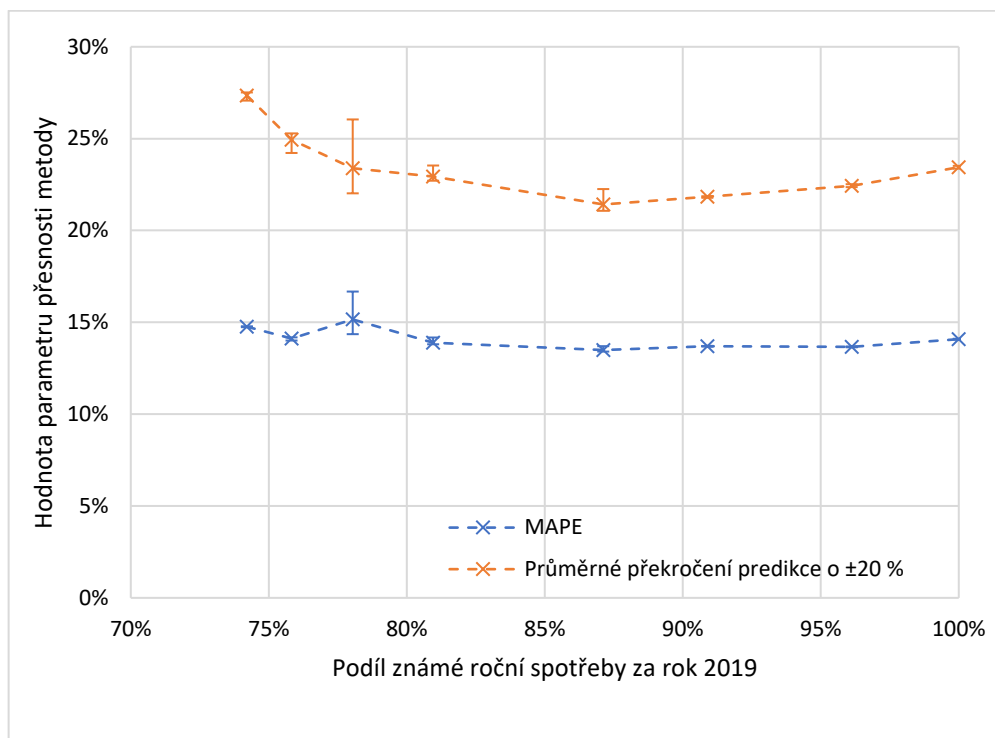


Obr. 3-17: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů

V grafech 3-18 a 3-19 je s pomocí chybových úseček vyznačena směrodatná odchylka výsledků všech deseti běhů. To ukazuje, v jakém rozsahu se pohybovaly výsledky.



Obr. 3-18: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE±20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů v závislosti na podílu osazených OM



Obr. 3-19: Porovnání průměrných hodnot ukazatelů PPE \pm 20% a MAPE pro 8 zvolených scénářů z deseti cvičebních běhů v závislosti na podílu známé roční spotřeby za rok 2019

V další části je vypracováno porovnání těchto výsledků s jinou metodou, pro uvedení výsledků metody využívající ANN do kontextu.

3.4 Metoda vypracování s pomocí TDD

Jako referenční metodu predikce lze použít TDD, které lze použít pro „predikci“ spotřeby. Normalizované TDD (tj. nezahrnující aktuální denní teplotu) jsou zveřejňována s předstihem na další rok a, i když nejsou určena pro predikci jako spíše pro nastavení např. plateb pro jednotlivá odběrná místa, v rámci této práce je možné je použít pro posouzení přesnosti metody ANN.

Predikce se nebude shodovat ve výsledné sumě spotřeby, protože v případě použití dat z SM jsou mezery, pro které nejsou data dostupná. Pro posouzení přesnosti obou metod je však podstatnější studovat odchylku v jednotlivých časových úsecích, podobně jako například při porovnávání jednotlivých scénářů při použití ANN.

V tomto ohledu vzniká problém s ohledem na délku intervalu. Spotřeba je měřena s pomocí SM s intervalem 15 minut, zatímco TDD jsou vytvářeny s granularitou 1 hodiny. Dále, TDD slouží k predikci spotřeby, a proto pro porovnání budou změřené údaje z SM přepočteny tak, aby představovaly hodinovou spotřebu místo doposud používaného výkonu.

Spotřeba bude vypočtena na základě vzorce 3-10.

$$W(t) = P(t) * t_{int} \quad (Wh, W, hod) \quad (3-10)$$

kde:

$W(t)$ celková spotřeba v intervalu t

$P(t)$ průměrný výkon během intervalu t

t_{int} délka intervalu t

Tento vzorec vychází z definice energie na základě okamžité hodnoty výkonu (dle rovnice 3-11).

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (J, W, s) \quad (3-11)$$

kde:

W odebraná energie mezi časy t_1 a t_2

$p(t)$ okamžitý výkon v čase t

Poté lze spotřebu v dané hodině získat jako součet spotřeb v jednotlivých čtvrthodinách. Tato hodnota je porovnatelná s hodnotou získanou rozpočtením s pomocí TDD. V případě, že délku intervalu nelze určit (například na začátku měření nebo v bodech, kde byla přerušena komunikace), je použita hodnota 0,25 hodiny. Tyto body jsou identifikovány buď chybějící hodnotou času měření v intervalu t nebo tím, že je délka intervalu větší, než 1 hodina, a tedy by při výpočtu spotřeby docházelo k vkládání nesprávných hodnot pro porovnání se spotřebou TDD.

Kvůli výše uvedené problematice s výpočtem spotřeby je v každé části vypracování, kde je to možné, použit výkon. V případě sčítání spotřeby pro převod na hodinové intervaly a pro porovnávání s TDD je ale nutné pracovat se spotřebou (aby celková suma odebrané energie zůstávala, pokud možno, konzistentní).

Pro výpočet spotřeby s pomocí normalizovaných TDD je použit stejný výpočet, jako uvádí vzorec 3-4.

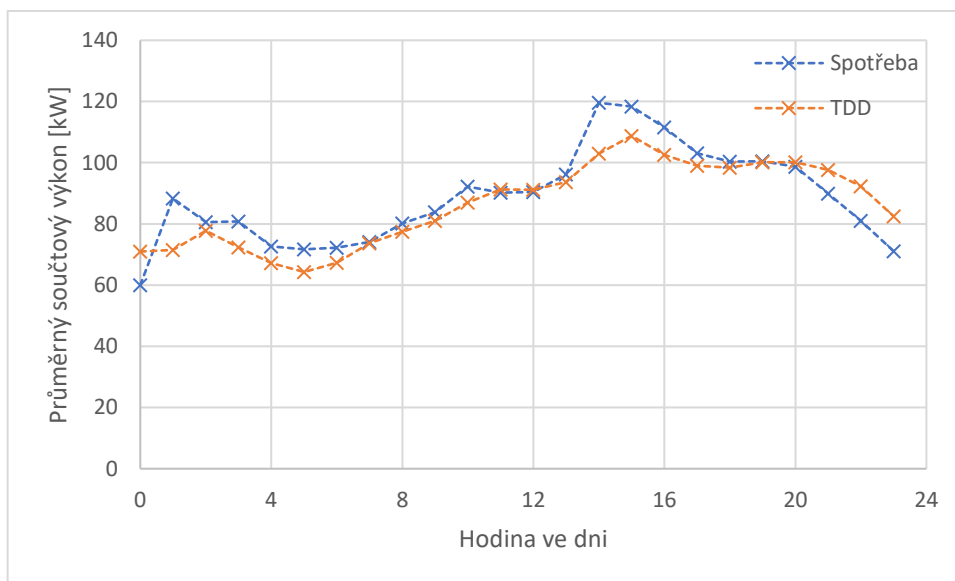
3.4.1 Výsledky predikce s pomocí metody TDD

Na základě popisu uvedeného výše v části 3.4 byl proveden výpočet predikce s následujícími výsledky. Číselné výsledky dvou ukazatelů jsou uvedeny v tabulce 3-6.

Tab. 3-6 Porovnání číselných parametrů predikce s pomocí metody TDD

Parametr	Hodnota parametru
Průměr absolutní procentuální odchylky (MAPE)	0,160
PPP±20%	0,297

Výsledky lze podobně jako v případě predikce s pomocí ANN shrnout do grafu průměrné součtové spotřeby v dané čtvrt hodině, která graficky ukazuje přesnost vytvořených průběhů proti realitě. Tento graf je uveden na obrázku 3-20.



Obr. 3-20: Porovnání predikce vytvořené s pomocí TDD pro průměrný součtový výkon ve dni oproti změřenému průměrnému součtovému výkonu.

Ze získaného průběhu a z parametrů, které jsou k dispozici, lze usoudit, že predikce s pomocí TDD dosahuje poměrně dobrých výsledků, což je dáno faktem, že je posuzováno součtově poměrně velké množství OM. V případě, že by se jednalo jen řádově o jednotky OM, nejspíš by výsledky byly horší.

KAPITOLA 4: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ A VĚROHODNOSTI POUŽITÝCH METOD

4.1 Přesnost metody ANN

Zvolená metoda využívající dopřednou ANN dosahuje průměrně (tj. s průměrem ukazatelů přes všechny scénáře) přesnosti vyjádřené ukazatelem MAPE 14,11 %. Predikce dosahuje absolutní odchylky větší než 20 % přibližně v 23,47 % datových bodů.

S každým meziscénářem došlo průměrně ke zlepšení výsledků v ukazateli MAPE o 0,097 p. b. a ke zlepšení v ukazateli PPE \pm 20% o přibližně 0,56 p. b. Tato zlepšení jsou velmi nízká s ohledem na to, že v některých případech došlo dokonce ke zhoršení ukazatelů. To je dáno částečně náhodným charakterem procesu učení s pomocí ANN. Pro další závěry by bylo nutné tento vliv vyloučit, například provedením dostatečného množství pokusných běhů s ANN, aby mohly být statisticky zhodnoceny (např. v řádu sta či více běhů), což je nad rámec dostupného výpočetního výkonu a rozsahu této práce.

4.2 Přesnost metody TDD

Aplikace TDD byla provedena pro známé hodnoty roční spotřeby jednotlivých OM na základě jejich distribuční sazby. Porovnáním se známými daty o hodinové spotřebě byla určena přesnost metody vyjádřená ukazatelem MAPE 16,0 %. Predikce dosahuje absolutní odchylky větší než 20 % přibližně v 29,7 % datových bodů.

Metoda TDD byla aplikována pouze v jednom scénáři, ve kterém nebyly využity žádné údaje o hodinovém rozdělení spotřeby. To je možné díky algoritmu aplikace TDD, ve kterém se používá koeficientů, které stanovuje OTE, a. s. Stanovení koeficientů je založeno na modelu TDD, který popisuje dokumentace OTE k TDD pro elektřinu. Vstupní data pro model TDD jsou získávána s pomocí vzorků, jejichž počet uvádí například Prováděcí pokyny k měření společnosti OTE. Pro stanovení koeficientů TDD je dle Prováděcích pokynů k měření používáno 128 vzorků na celostátní úrovni pro každou kategorii TDD, tj. celkem 896 OM s průběhovým měřením. Vzorky jsou rozděleny mezi distribučními společnostmi takovým způsobem, aby rovnoměrně zachycovaly spotřebu v celé ČR.

¹OTE. Prováděcí pokyny k měření. [online]. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z www: https://www.ote-cr.cz/cs/dokumentace/dokumentace-elektřina/files_dokumentace/Provadeci_pokyny_k_mereni.zip

4.3 Porovnání metody ANN a metody TDD

Obě metody byly aplikovány na stejný vzorek OM. Metoda ANN byla aplikována pro různé okrajové podmínky, tj. různý učební vzorek OM pro vytvoření predikce. Metoda TDD byla aplikována pouze v podobě jednoho scénáře, který odpovídá současné metodice aplikace TDD.

Metoda ANN používala pro vytvoření predikce ekvivalent průběhového měření u 102 až 272 OM (v závislosti na volbě scénáře). Koeficienty pro metodu TDD jsou tvořeny s pomocí průběhového měření 896 OM¹. Metoda ANN byla vytvořena pro zvolený vzorek OM a nebylo ověřeno její použití v případě jiných OM než těch, která zároveň tvoří i učební vzorek. Metodu TDD lze aplikovat celostátně (resp. v případě TDD5 je použití regionální).

Metoda ANN získala lepší výsledky než metoda TDD. Jedná se přibližně o rozdíl v řádu jednotek procentních bodů, konkrétní porovnání je uvedeno v tabulce 4-1.

Tab. 4-1 Porovnání číselných parametrů metody ANN a metody TDD

Parametr	Metoda ANN	Metoda TDD
Průměr absolutní procentuální odchylky (MAPE)	0,141	0,160
PPP±20%	0,235	0,297

Pouze částečně lepší výsledky v porovnání s TDD mohou být dány poměrně primitivní strukturou ANN, která byla použita. Při použití komplexnější struktury (např. DL síť nebo LSTM síť), většího množství učebních dat a vyššího výpočetního výkonu lze očekávat lepší výsledky.

Výsledky ANN jsou však stále lepší než výsledky metody TDD, z čehož lze usuzovat, že tato metoda má v predikci spotřeby nevyužitý potenciál.

4.4 Vliv okrajových podmínek na metodu ANN

4.4.1 Vliv podílu „osazených“ OM

Podíl „osazených“ OM lze kvantifikovat buď počtem OM, která byla „osazena“, tj. zahrnuta do učebního souboru, nebo celkovou součtovou spotřebou za minulý rok, která je známá.

4.4.1.1 Vliv počtu OM

Zvyšováním počtu OM není nutně získána větší přesnost predikce a rozhodně se nejedná o přímou závislost. Část dat by měla být vždy vyloučena pro jejich velkou náhodnost, a tedy zvyšováním známého počtu OM nemusí být získána žádná nová „naučitelná“ informace, zvláště

¹ OTE. Prováděcí pokyny k měření. [online]. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z www: https://www.ote-cr.cz/cs/dokumentace/dokumentace-elektrina/files_dokumentace/Provadeci_pokyny_k_mereni.zip

pokud je zvyšování počtu známých OM prováděno od OM s vyšší spotřebou k OM s nižší spotřebou.

Při sledování střední chyby predikce (např. ukazatel MAPE) jsou všechny scénáře s rozdílnými počty OM velmi podobné.

V případě, že více sledujeme diagram predikované spotřeby, například na základě vytvořeného ukazatele $PPP \pm 20\%$, který popisuje, v kolika procentech případů došlo k odchylce predikce od reálného výkonu o více než $\pm 20\%$, jsou výsledky více vypovídající. V závislosti tohoto ukazatele lze najít hranici, do které je pro provedenou metodu možné zlepšovat přesnost metody zvyšováním počtu osazených OM. Přibližně mezi osazením 52 % až 61 % odběrných míst přestane predikce získávat lepší výsledky.

Ukazatel MAPE v tomto ohledu není zcela jednoznačný a nelze z něj jednoznačně určit, jak velký podíl OM má smysl osazovat. Tyto závěry předpokládají osazování od OM s nejvyšší roční spotřebou.

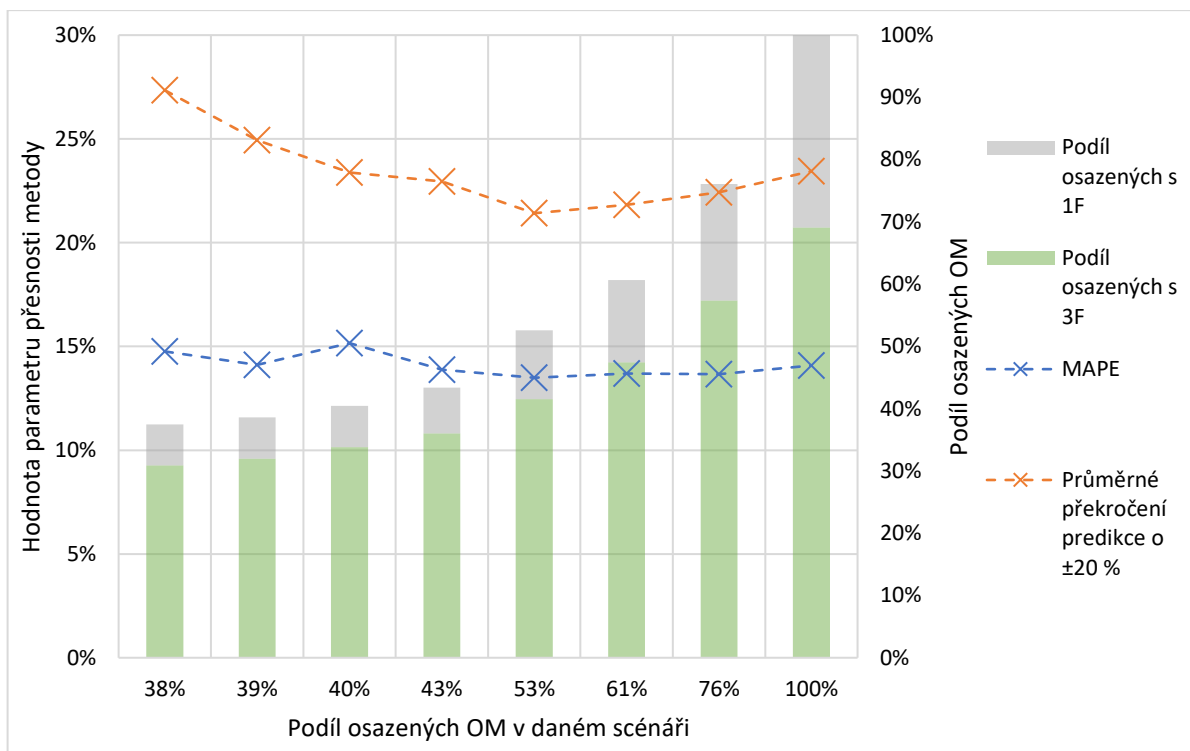
4.4.1.2 Vliv podílu známé roční spotřeby

K podobným závěrům lze dojít na základě sledování vlivu podílu známé roční spotřeby. Ve chvíli, kdy je v posloupnosti od největších odběrných míst osazeno přibližně 87 % až 90 % roční spotřeby, zbývající OM už nepřispívají k zvýšení přesnosti použité metody. Ač je jich početně mnoho, často se může jednat o velice malé odběry, které mají vysoce náhodný diagram spotřeby, a proto ho zvolená metoda není schopná dobře odhadnout.

4.4.2 Vliv dalších kmenových dat OM

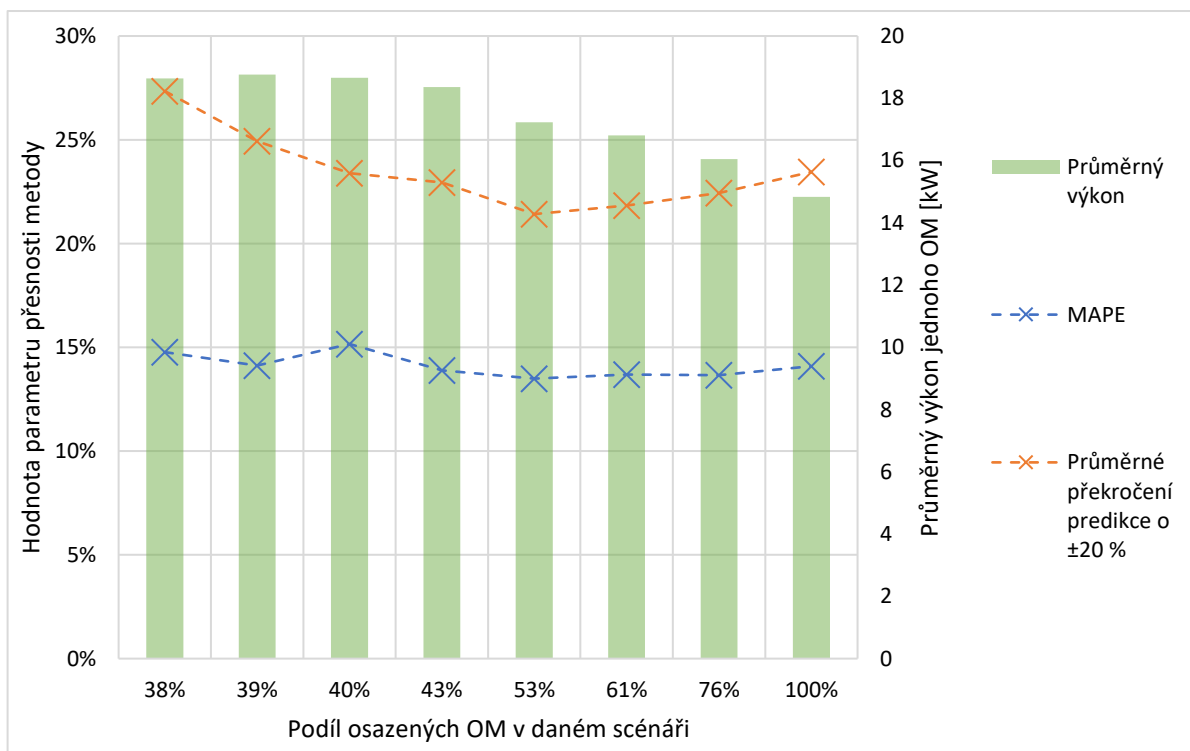
Mezi další parametry, které mohou mít vliv na přesnost metody predikce s pomocí ANN, patří například velikost jističe a počet fází, případně spotřeba v minulých letech a její rozdělení mezi VT a NT.

Tyto parametry byly zahrnuty do učebního procesu, ale nebyly podrobněji zohledněny v podobě volby scénářů s ohledem na možné scénáře implementace SM v ČR (viz část 2.3). Vzhledem k tomu jsou získané výsledky dány do kontextu s těmito daty na následujících obrázcích. Obrázek 4-1 zobrazuje výsledky metody ANN prezentované v kapitole 3 v kontextu počtu fází, které použítá OM obsahují.



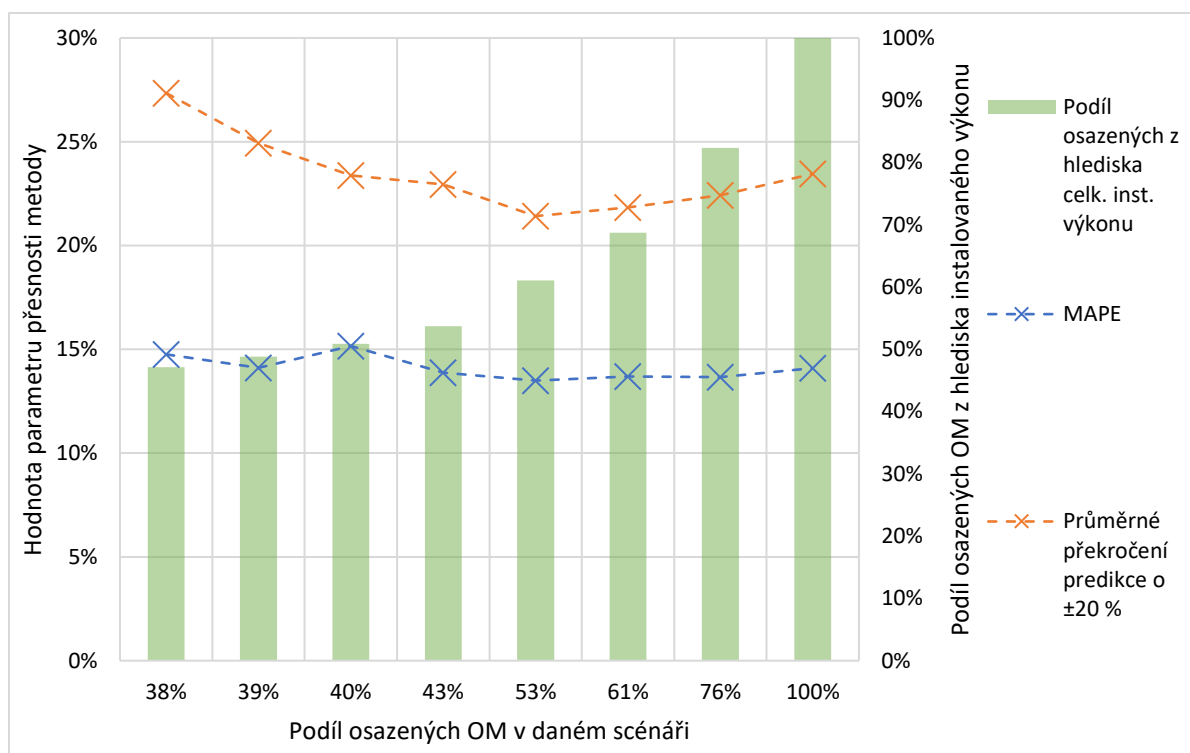
Obr. 4-1: Srovnání výsledků s ohledem na rozdělení dle počtu fází „osazených“ OM

Obrázek 4-2 zobrazuje výsledky metody ANN ve vztahu k průměrnému instalovanému výkonu OM, který lze spočítat z velikosti jističů a z faktu, že všechna studovaná OM jsou připojena na úrovni NN.



Obr. 4-2: Srovnání výsledků dle průměrného výkonu „osazených“ OM

Obrázek 4-3 zobrazuje výsledky vztahované k podílu OM, která jsou „osazena“, z hlediska jejich instalovaného výkonu (tj. jaká část celkového součtového výkonu je „osazena“ chytrými elektroměry).



Obr. 4-3: Srovnání výsledků dle podílu celkového výkonu OM, která jsou „osazena“

4.4.3 Vliv charakteru OM

Mezi OM jsou velké rozdíly, zejména mezi OM s dvoutarifní sazbou, které mají obecně lépe predikovatelný průběh. Tento vliv však není posuzován, protože lze předpokládat, že s postupným odstavováním systému HDO budou všechna dvoutarifní OM osazena chytrými elektroměry, které mohou systém HDO nahradit.

Ze studovaných scénářů lze usoudit, že čím menší je celková roční spotřeba daného OM, tím méně predikovatelný a naučitelný je jejich průběh. I proto není nutně žádoucí osazovat všechna OM, pokud posuzujeme pouze přesnost možné predikce. Přibližně za hranicí 1,5 MWh roční spotřeby již nemají OM jasně predikovatelný průběh, alespoň v případě použití metody této práce. Jejich osazení může být užitečné z jiných důvodů, ale pro tuto metodu jím nevznikne příliš velké množství nové informační hodnoty.

4.5 Vliv okrajových podmínek na metodu TDD

Přesnost metody TDD je ovlivněna zejména počtem OM, jejich typem a jejich lokalitou. Při tvorbě TDD je použito náhodně vybraných OM rozložených rovnoměrně na celostátní úrovni takovým způsobem, aby pro každou z kategorií bylo k dispozici 128 vzorků pro stanovení koeficientů.

Na přesnost metody TDD má dále významný vliv denní teplota (zejména s ohledem na HDO) kvůli čemuž jsou vytvářeny také přepočtené koeficienty TDD a teplotní koeficienty. Vyjádření závislosti na teplotě je založeno na normálové denní teplotě vzduchu získané průměrem z let 1991 až 2020 a na skutečné denní teplotě počítaných jako průměr denních teplot vzduchu. Denní teploty jsou vypočteny jako průměr měření všech měřících stanic Českého hydrometeorologického úřadu (ČHMÚ).

Metoda TDD byla aplikována na jednu sadu okrajových podmínek, která byla dána dostupným vzorkem OM. Použití metody je určeno pro porovnání modelu TDD (jehož algoritmus výpočtu není zveřejňován v rámci dokumentace OTE k TDD pro elektřinu) s metodou ANN.

4.6 Získané informace a další možný postup

4.6.1 Získané informace

Na základě použité metody lze dojít k závěru, že hranice 2 MWh může být vhodným dělicím bodem při osazování OM chytrými elektroměry v městském prostředí. V případě testovaného vzorku se jedná o přibližně 40 až 50 % OM, osazováno od největších odběrů.

Tento závěr je založen zejména na použité metodě. Dopředné neuronové sítě, které byly použity ve vypracování, nedosahují takové přesnosti jako například LSTM sítě nebo DL metody. Tyto metody na rozdíl od FFNN vyžadují větší výpočetní výkon. V případě LSTM sítí je také nutné mít, pokud možno, kompletní data v časové posloupnosti, což v rámci tohoto vypracování nebylo možné s ohledem na dostupná data. Naopak „jednoduchá“ FFNN je schopná vytvářet predikce i na základě neuplných dat, protože pracuje pouze se zvolenými ukazateli v daném datovém bodu. Z tohoto důvodu je ale značně omezena její přesnost.

Obecně by bylo možné dále zpřesňovat tuto metodu použitím složitějších struktur neuronových sítí. Dalším vhodným rozšířením je použití „online“ metod, které průběžně zpřesňují predikce na základě nových dat. Neuronová síť by v tom případě s delší dobou svého provozu stále získávala lepší výsledky s přibývajícím množstvím informací o spotřebě OM.

I navzdory výše uvedeným omezením použité metody, posloužila tato metoda k demonstraci informační hodnoty, kterou lze získat z dat o spotřebě v případě různě charakterizovaných OM.

V kontextu další metody, která využívá TDD, lze obě metody považovat za věrohodné, protože dosáhly výsledků, které jsou řádově podobné skutečným hodnotám. Metoda ANN však dosahuje lepších výsledků, ač se nejedná o převratně velký rozdíl.

4.6.2 Další možné navazující postupy

Lze identifikovat tři směry, kterými by bylo možné tuto práci rozšířit.

První z nich je zaměřen na hlubší popis a analýzu většího počtu OM. Bylo by například možné s pomocí strojového učení a statistických metod dále studovat informační hodnotu v datech z více chytrých elektroměrů a tím ještě přesněji stanovit, jaká OM má smysl osazovat chytrými elektroměry a kde nelze očekávat přidanou hodnotu. V rámci tohoto směru by také bylo možné provést *clustering* OM podle jejich charakteru nad rámec tarifní struktury. I k tomu je možné použít strojové učení.

Druhý směr je zaměřen na zpřesňování predikce jako takové a vytvoření metody, kterou by bylo možné aplikovat např. za účelem snížení obchodních odchylek nebo pro účely řízení agregace dodávky za účelem poskytování flexibility (tzv. „virtuální elektrárny“). V tomto ohledu by bylo možné využít např. LSTM sítě k vytvoření přesných predikcí v krátkém horizontu z dat v chytrých elektroměrech.

Třetí možností by bylo vytvoření aplikace, která by mohla pracovat na úrovni elektroměrů pro využití dat s velmi vysokým rozlišením, např. pro identifikaci charakteru spotřeby nebo k vytvoření ukazatele, který by mohl uživatele lépe charakterizovat (např. „spotřeba s primárním charakterem večerního nárůstu odběru“, „spotřeba s charakterem celodenního odběru s nízkou celkovou spotřebou“ apod.). V tomto směru by bylo nutné klást důraz na jednoduché a efektivní metody kvůli výpočetnímu omezení na úrovni elektroměru.

Zcela paralelní možností rozšíření je zahrnutí ekonomických ukazatelů za účelem lepšího zhodnocení efektivity metod predikce či různých scénářů, zvláště pokud by na základě jednoho z výše uvedených tří směrů byla vyvinuta aplikace pro širší použití. Na úrovni této práce by se mohlo jednat např. o cenu chytrého elektroměru („o kolik se zpřesní přesnost predikce na vynaložené náklady na instalaci SM“).

Obecně je využití dat z chytrého měření (z použití strojového učení nebo bez něj) velmi rozsáhlou oblastí, ve které je velký potenciál pro další rozvoj.

ZÁVĚR

Práce si kladla za cíl zhodnotit současné možnosti chytrého měření, používané koncepty a komunikace a také některé výzvy a příležitosti v této oblasti. Cílem bylo technické zhodnocení současného stavu chytrých elektroměrů, popis rozvoje této technologie na úrovni Evropy s aktualizací pro ČR a v praktické rovině také vypracování příkladu jednoho možného využití získaných dat s pomocí navržené metody využívající prvky strojového učení.

V teoretické oblasti byly popsány některé základní koncepty, jako je například pokročilá infrastruktura měření a technologie chytrých elektroměrů. Zároveň byly zhodnoceny i možnosti využití chytrého měření, například „tradiční“ možnosti, jako je lepší možnost správy energií zákazníky, vzdálené odečty nebo zlepšení správy distribuční soustavy. Také byly popsány možnosti, které nejsou ve spojitosti s AMM tak často zmiňovány, jako je využití velkého objemu získaných dat pro účely strojového učení, a to zejména na úrovni *deep learning*, a také s detailem pro umělé neuronové sítě využívané pro predikci spotřeby.

Na úrovni shrnutí současného rozvoje byl popsán stav v EU a jednotný postup členských zemí EU, ale také byla uvedena aktualizace současného stavu rozvoje AMM pro vzorek zemí, a to konkrétně pro Nizozemsko, Německo, Itálii, Spojené království, Španělsko, Rakousko a Českou republiku.

V praktické rovině byla využita data poskytnutá společností PREdistribuce, a. s., z pilotního projektu věnovanému chytrému měření. Jednalo se o data o spotřebě mezi roky 2019 a 2020 doplněná o určité další tzv. „kmenové“ údaje. Na tato data byla aplikována navržená metoda využívající „mělkou“ umělou neuronovou síť pro predikci spotřeby. Pro porovnání bylo také využito koeficientů TDD pro vypracování „kontrolní“ predikce pro zhodnocení výsledků umělé neuronové sítě.

Navržená metoda ANN dosáhla přesnosti popsané ukazatelem MAPE v průměru přes všechny scénáře implementace přibližně 14,1 %, zatímco metoda TDD dosáhla přesnosti popsané ukazatelem MAPE přibližně 16,0 %. I když je přesnost navržené metody vyšší pouze o malý rozdíl (jen přibližně 2,1 p. b.), jedná se o porovnání s průměrem přes všechny scénáře, tj. nikoliv s nejlepší možnou implementací metody ANN. Dále také metoda ANN využívala pouze velmi jednoduchou strukturu (v porovnání s metodami DL) a proces strojového učení proběhl pouze statisticky malým počtem pokusů (pouze 10x pro každý scénář). Tato omezení byla dána rozsahem této práce a dostupným výpočetním výkonem, a i navzdory tomu bylo dosaženo poměrně dobrých výsledků.

Nejlepší výsledků bylo dosaženo při použití osazovacích scénářů s podílem osazených OM od přibližně 40 % do 50 % při strategii osazení všech OM s dvoutarifní sazbou a postupném osazování od OM s největší celkovou spotřebou za předchozí rok. V takových scénářích

dosahovala metoda ANN přesnosti popsané ukazatelem MAPE přibližně až 13,5 %. Pro další posouzení byl po odborné konzultaci také vytvořen ukazatel $PPP\pm 20\%$, který jednoduše popisuje, v kolika datových bodech průměrně dochází k rozdílu mezi predikcí a realitou větším než 20 %.

Průměrně přes všechny scénáře byla hodnota ukazatele $PPP\pm 20\%$ přibližně 23,5 % (tj. ve 23,5 % datových bodů predikce udala spotřebu špatně o více než 20 % v abs. hodnotě). Pro porovnání, metoda TDD měla hodnotu ukazatele $PPP\pm 20\%$ přibližně 29,7 %.

Na základě těchto výsledků byly zhodnoceny jak použité metody, tak možné implementační scénáře pro chytré měření v dané oblasti. Je nutné zmínit, že výsledky vychází ze specifického příkladu rezidenčního regionu s hustou elektrickou sítí (což je typické pro distribuční území Prahy), což udává okrajové podmínky modelu. Pro zvýšení obecné aplikovatelnosti metody by bylo nutné zpracovat více dat z více rozdílných lokalit a také optimalizovat vstupní zpracování dat a metodu modelu.

Na popsaném příkladu práce demonstrovala možný příklad využití chytrého měření ve zvolené oblasti a shrnula obecné údaje nutné pro kontext zvoleného vypracování.

Práce adresovala body zadání, posloužila k ukázce aplikace strojového učení v energetice a umožnila autorovi rozvinout znalosti v oblasti chytrého měření, strojového učení a datové analýzy. Navržená metoda ANN představuje nový pohled na možnosti predikce spotřeby, který může být dále rozvíjen vědeckou činností. Práce bude k dispozici společnosti PREDistribuce, a. s. v rámci přípravy zavádění chytrého měření a také poslouží jako ucelený zdroj informací o současném stavu pro další praktické aplikace.

LITERATURA

- [1] ACEER, CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2021, *Energy Retail and Consumer Protection Volume*. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf
- [2] ADAMEC, Marek. *Systematic approach for implementation of smart grids*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, [2014]. ISBN 978-3-659-50782-3."
- [3] AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE. Energetická infrastruktura – Smart Grids – AMM – výzva I. [online]. 2023. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.agentura-api.org/cs/podporovane-aktivity-optak/energeticka-infrastruktura-optak/energeticka-infrastruktura-smart-grids-amm-vyzva-i/>
- [4] ASHOK, Aditya, Manimaran GOVINDARASU a Jianhui WANG. Cyber-Physical Attack-Resilient Wide-Area Monitoring, Protection, and Control for the Power Grid. *Proceedings of the IEEE* [online]. 2017, **105**(7), 1389-1407 [cit. 2023-02-01]. ISSN 0018-9219. Dostupné z: doi:10.1109/JPROC.2017.2686394
- [5] BAKKEN, David (ed.). *Smart grids: clouds, communications, open source, and automation*. CRC Press, 2014.
- [6] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK, *Smart Meter Gateway*, webové stránky [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: https://www.bsi.bund.de/EN/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/smart-meter-gateway_node.html
- [7] BUSSINESS WIRE, INC. „Powerley Unveils Energy-Driven Smart Home Experience“. [online]. 2017. [cit.2023-03-02]. Dostupné z www: <https://www.businesswire.com/news/home/20170131006068/en/Powerley-Unveils-Energy-Driven-Smart-Home-Experience>
- [8] ČEPS, Kodex přenosové soustavy. [online]. 2022 (poslední revize). [cit 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [9] ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Jednání Think Tanku NAP SG 18. 1.2021. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/jednani-think-tanku-nap-sg-18--1-2021--259047/>
- [10] ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Národní akční plán pro chytré sítě 2019 – 2030, aktualizace NAP SG. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z www: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm>
- [11] ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Vyhláška č. 359/2020, o měření elektřiny. In: Sbírkka zákonů. 2020, částka 146. Dostupné z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=38937>
- [12] DAS, Himshekhar a L.C. SAIKIA. Ethernet based smart energy meter for power quality monitoring and enhancement. In: *2017 Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 187-191 [cit. 2023-01-31]. ISBN 978-1-5090-3978-4. Dostupné z: doi:10.1109/RDCAPE.2017.8358264
- [13] E.ON UK PLC. Informační webové stránky aplikace E.ON Home. [online]. 2023. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z www: <https://www.eonenergy.com/energy-management.html>

- [14] E-CONTROL, Electricity Distribution System Operators 1 January 2019 - 31 December 2023 Regulatory Regime for the Fourth Regulatory Period. [online]. 2018. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z [www: https://www.e-control.at/documents/1785851/1811597/Regulierungssystematik_4_Periode_STROM_Dez_+2018_EN.pdf/75c38bb5-8903-7025-eb47-8bc72f4a7793?t=1562141191598](https://www.e-control.at/documents/1785851/1811597/Regulierungssystematik_4_Periode_STROM_Dez_+2018_EN.pdf/75c38bb5-8903-7025-eb47-8bc72f4a7793?t=1562141191598)
- [15] EDF ENERGY CUSTOMERS LTD. Informační leták „Smarter Living“. [online]. 2020. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z [www: https://www.edfenergy.com/sites/default/files/r1201_chameleon_3_and_geo_trio_one_guide_booklet_2020.pdf](https://www.edfenergy.com/sites/default/files/r1201_chameleon_3_and_geo_trio_one_guide_booklet_2020.pdf)
- [16] E-DISTRIBUZIONE. Webové stránky Open Meter. [online]. 2022. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.e-distribuzione.it/open-meter.html>
- [17] EG.D. Návod k chytrým elektroměrům. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.egd.cz/navody-k-elektromerum#navody-k-chytrym-elektromerum-smart-metering](https://www.egd.cz/navody-k-elektromerum#navody-k-chytrym-elektromerum-smart-metering)
- [18] EG.D. Projekt Smaragd, (2017 až 2021). [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.egd.cz/smaragd](https://www.egd.cz/smaragd)
- [19] ENERGIMARKNADSINSPEKTIONEN. Funktionskrav elmätare. Webové stránky. 2020. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z [www: https://ei.se/bransch/matning-av-el/funktionskrav-elmatare](https://ei.se/bransch/matning-av-el/funktionskrav-elmatare)
- [20] ENGAGE CONSULTING LIMITED. ENA Smart Metering Use Cases. [online]. 2010. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.energynetworks.org/assets/images/Resource%20library/Smart%20Meters%20-%20System%20Use%20Cases.pdf?1697099533>
- [21] ERÚ. Koncepce propojení nového designu trhu v elektroenergetice s regulovanými cenami. [online]. 2023. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.eru.cz/koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-regulovanymi-cenami](https://www.eru.cz/koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-regulovanymi-cenami)
- [22] ERÚ. Požadavky na smart metering v ČR z pohledu uživatele. [online]. 2022. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele](https://www.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele)
- [23] ERÚ. Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/vyhlaska-okvalite-dodavek-elekriny-souvisejicich-sluzeb-v-elektroenergetice>. ISSN 2336-517X.
- [24] EURELECTRIC A.I.S.B.L. Distribution Grids in Europe, Facts and Figures 2020. [online]. 2020. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z [www: https://cdn.eurelectric.org/media/5089/dso-facts-and-figures-11122020-compressed-2020-030-0721-01-e-h-6BF237D8.pdf](https://cdn.eurelectric.org/media/5089/dso-facts-and-figures-11122020-compressed-2020-030-0721-01-e-h-6BF237D8.pdf)
- [25] EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, ALATON, C., TOUNQUET, F., *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28: final report*, Publications Office, 2020. Dostupné z [www: https://data.europa.eu/doi/10.2833/](https://data.europa.eu/doi/10.2833/)
- [26] EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy, TOUNQUET, F., LINDEN, M., MANDATOVA, P., et al., *Supporting country fiches accompanying the report Benchmarking smart metering deployment in the EU-28*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/728829>
- [27] EVROPSKÁ KOMISE, Directorate-General for Energy. *Clean energy for all Europeans*, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>
- [28] EVROPSKÁ KOMISE, Doporučení Komise ze dne 9. března 2012 o přípravách na zavedení inteligentních měřících systémů. (2012). *Úřední věstník*, L 73, 9-22. Dostupné z [www: http://data.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj](http://data.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj)

- [29] EVROPSKÁ UNIE. nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/869 ze dne 30. května 2022, kterým se stanoví hlavní směry pro transevropské energetické sítě, mění nařízení (ES) č. 715/2009, (EU) 2019/942 a (EU) 2019/943 a směrnice 2009/73/ES a (EU) 2019/944 a zrušuje nařízení (EU) č. 347/2013, In: Úřední věstník, L 152, 3. 6. 2022, s. 45–102. Dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022R0869>
- [30] EVROPSKÁ UNIE. směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU (přepřacované znění), In: Úřední věstník, L 158, 14. 6. 2019, s. 125–199. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>
- [31] EVROPSKÁ UNIE. směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/72/ES ze dne 13. července 2009 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o zrušení směrnice 2003/54/ES, In: Úřední věstník, L 211, 14. 8. 2009, s. 55–93 L 60, 28. 2. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32009L0072>
- [32] GARLÍK, Bohumír. *Od chytrých sítí po chytré budovy, města a dopravu: v prostředí umělé inteligence*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06624-9.
- [33] GOODFELLOW, Ian, BENGIO, Yoshua, COURVILLE, Aaron. *Deep Learning*. MIT Press. 2016. [cit.2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.deeplearningbook.org/>
- [34] KABALCI, Yasin. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, 57, 302-318 [cit. 2022-10-09]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.114
- [35] LA SCALA, Massimo et al. *From Smart Grids to Smart Cities: New Challenges in Optimizing Energy Grids*. Somerset: John Wiley & Sons, Incorporated, 2021. ISBN 1848217498;9781848217492;
- [36] LIPČÁK, O.. Šablona pro závěrečné práce na katedře elektrických pohonů a trakce. Praha: ČVUT. 2020.
- [37] MISRA, Sudip a Samaresh BERA. *Smart grid technology: a cloud computing and data management approach*. Cambridge: Cambridge University Press, 2018. ISBN 978-1-108-47520-4.
- [38] MOMOH, James A. *Smart grid: fundamentals of design and analysis*. Hoboken: Wiley, c2012. IEEE Press series on power engineering. ISBN 978-0-470-88939-8.
- [39] MULLER, Sven C., Andreas KUBIS, Sebastian BRATO, Ulf HAGER, Christian REHTANZ a Jurgen GOTZE. New applications for wide-area monitoring, protection and control. In: *2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)* [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 1-8 [cit. 2023-02-01]. ISBN 978-1-4673-2597-4. Dostupné z: doi:10.1109/ISGTEurope.2012.6465657
- [40] NĚMECKO, BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. Entwurf eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende. 2023. Online [cit. 2023-02-25]. Dostupné z www: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/entwurf-eines-gesetzes-zum-neustart-der-digitalisierung-der-energiewende.html>
- [41] NETBEHEER NEDERLAND – WG DSMR. Dutch Smart Meter Requirements, *Main Document*. [online]. 2019. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: [https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Slimme meter 15 bf3be9c18c.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Slimme%20meter%2015%20bf3be9c18c.pdf)
- [42] NETWORKED ENERGY SERVICES. Establishing the Smart Grid in Austria. [online]. 2023. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z www: <https://www.networkedenergy.com/en/success/establishing-the-smart-grid-in-austria>

- [43] OSIČKA, Petr. Strojové učení a deep learning. *Matematika–fyzika–informatika*. [online]. 2021. [cit.2023-03-02]. 30(2):133–145. Dostupné z: <https://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/541>
- [44] ÖSTERREICHIS E-WIRTSCHAFT (OESTERREICHIS ENERGIE). Datenblatt Smart Meter-Adapter. [Online]. 2022. Dostupné z [www: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf](https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf)
- [45] ÖSTERREICHIS E-WIRTSCHAFT, *Smart Meter-Adapter, webové stránky*, [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/Datenblatt_Smart_Meter_Adapter_V7_20220808.pdf
- [46] OTE. Normalizované TDD. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd?date=2019-01-01](https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd?date=2019-01-01)
- [47] OTE. Prováděcí pokyny k měření. [online]. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z [www: https://www.ote-cr.cz/cs/dokumentace/dokumentace-elektrina/files_dokumentace/Provadeci_pokyny_k_mereni.zip](https://www.ote-cr.cz/cs/dokumentace/dokumentace-elektrina/files_dokumentace/Provadeci_pokyny_k_mereni.zip)
- [48] OTE. Teploty 2019. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2019-01-01](https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2019-01-01)
- [49] OTE. Teploty 2020. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z [www: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2020-01-01](https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/teploty?date=2020-01-01)
- [50] PHADKE, Arun G., Peter WALL, Lei DING a Vladimír TERZIJA. Improving the performance of power system protection using wide area monitoring systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* [online]. 2016, 4(3), 319-331 [cit. 2023-02-01]. ISSN 2196-5625. Dostupné z: doi:10.1007/s40565-016-0211-x
- [51] QAISAR, Saeed Mian, Futoon ALSHARIF, Abdulhamit SUBASI a Ahmed BENSENOUCI. Appliance Identification Based on Smart Meter Data and Event-Driven Processing in the 5G Framework. *Procedia Computer Science* [online]. 2021, 182, 103-108 [cit. 2023-03-14]. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2021.02.014
- [52] RADA EU, webové stránky *Balíček „Fit for 55“* [online]. 2022 [cit. 2022-25-11]. Dostupné z [www: https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/](https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/)
- [53] RAIMI, Kaitlin T. a CARRICO, Amanda R. Understanding and beliefs about smart energy technology. Online. *Energy Research & Social Science*. 2016, roč. 12, s. 68-74. ISSN 22146296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.018>. [cit. 2023-10-12].
- [54] RAKOUSKO, BUNDESMINISTERIN FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE. Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, mit der die Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung geändert wird. RIS, 2022. Dostupné z [www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2022_II_9/BGBLA_2022_II_9.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2022_II_9/BGBLA_2022_II_9.html)
- [55] RAKOUSKO, BUNDESMINISTERS FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT. Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, mit der die Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung (IME-VO), geändert wird (IME-VO Novelle 2017). RIS, 2017. Dostupné z [www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2017_II_383/BGBLA_2017_II_383.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2017_II_383/BGBLA_2017_II_383.html)

- [56] RAKOUSKO, E-CONTROL. Verordnung der E-Control, mit der die Anforderungen an intelligente Messgeräte bestimmt werden (Intelligente Messgeräte-AnforderungsVO 2011 – IMA-VO 2011). RIS, 2011. Dostupné z www: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2011_II_339/BGBLA_2011_II_339.html
- [57] RASHED MOHASSEL, Ramyar, Alan FUNG, Farah MOHAMMADI a Kaamran RAAHEMIFAR. A survey on Advanced Metering Infrastructure. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* [online]. 2014, **63**, 473-484 [cit. 2022-10-09]. ISSN 01420615. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijepes.2014.06.025
- [58] SEVEN, The Energy Efficiency Center, z.ú., *Metodika zavádění Smart Meteringu v ČR*. [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2022. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z www: <https://www.prod.eru.cz/tk03010200-pozadavky-na-smart-metering-v-cr-z-pohledu-uzivatele>
- [59] SHAWKAT ALI, A. B. M. *Smart grids: opportunities, developments, and trends*. London: Springer, c2013. Green energy and technology. ISBN 978-1-4471-5209-5.
- [60] SIEMENS. Grid monitoring using synchrophasors, WAMPAC. [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z www: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:03cb38f4-b01e-437a-9d75-cb1355754e60/wampacatalog.pdf>
- [61] SINGH, Vivek; GOVINDARASU, Manimaran. Design of Attack-Resilient System for Wide-Area Monitoring, Protection, and Control in Smart Grid. 2020. [cit. 2022-29-10]. Dostupné z: <https://smartgrid.ieee.org/bulletins/march-2020/design-of-attack-resilient-system-for-wide-area-monitoring-protection-and-control-in-smart-grid>
- [62] SKUPINA ČEZ. Tisková zpráva „ČEZ Distribuce investuje do svých sítí do roku 2025 přes 83 miliard korun, z toho si digitalizace vyžádá přes 23 miliard korun“. [online]. 2020. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-distribuce-investuje-do-svych-siti-do-roku-2025-pres-83-miliard-korun-z-toho-si-digitalizace-vyzada-pres-23-miliard-korun-88485>
- [63] SPOJENÉ KRÁLOVSTVÍ, DEPARTMENT OF ENERGY & CLIMATE CHANGE. Smart Metering Early Learning Project and Small-Scale Behaviour Trials. 2015. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z www: <https://www.gov.uk/government/publications/smart-metering-early-learning-project-and-small-scale-behaviour-trials>
- [64] SSE Plc. Gas and electricity meter help and advice. Webové stránky. 2022. Online [cit. 2023-02-26]. Dostupné z www: <https://sse.co.uk/help/energy/gas-and-electricity-meters>
- [65] THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Bayesian regularization backpropagation. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainbr.html>
- [66] THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Cascade-forward Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/cascadeforwardnet.html>
- [67] THE MATHWORKS. Dokumentace SW Matlab, Feedforward Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/feedforwardnet.html>
- [68] THE MATHWORKS. Návod SW Matlab, Fit Data with a Shallow Neural Network. [online]. [cit. 2023-10-12]. Dostupné z www: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/gs/fit-data-with-a-neural-network.html>
- [69] VINEETHA, C. P. a BABU, C. A. Smart grid challenges, issues and solutions. Online. In: *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*. IEEE, 2014, s.

1-4. ISBN 978-1-4673-6123-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IGBSG.2014.6835208>. [cit. 2023-10-12].

- [70] VODRÁŽKA, Jiří. Teoretická informační propustnost účastnických přípojek. Praha: ČVUT, 2001. [cit. 2023-31-01]. Dostupné z [www: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01031/index.html#propustnost](http://www.elektrorevue.cz/clanky/01031/index.html#propustnost)
- [71] WANG, Yang, Wenyuan LI a Jiping LU. Reliability Analysis of Wide-Area Measurement System. *IEEE Transactions on Power Delivery* [online]. 2010, **25**(3), 1483-1491 [cit. 2023-02-01]. ISSN 0885-8977. Dostupné z: doi:10.1109/TPWRD.2010.2041797
- [72] WILMOTT, Paul. Machine learning: an applied mathematics introduction. Panda Ohana Publishing, 2019. ISBN 9781916081604;1916081606;

PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A.1 Seznam symbolů

A_t	skutečná hodnota predikované hodnoty v čase t (z ang. „Actual“)
C_i	teoretická informační propustnost, $\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$
F_t	predikovaná hodnota predikované hodnoty v čase t (z ang. „Forecasted“)
a_1, a_2	vstupy umělého neuronu
k_i	bod predikce splňující danou podmínku
w_1, w_2	váhy umělého neuronu
\hat{y}	výstup umělého neuronu
$N(f)$	spektrální hustota výkonu šumu na vstupu přijímače, $\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1}$
$S(f)$	spektrální hustota výkonu přijímaného signálu, $\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1}$
t	časový interval, čas
B	šířka pásma, Hz
E	energie, zpravidla celková roční spotřeba daného odběrného místa
N	počet prvků (např. neuronů ve vrstvě ANN, datových bodů v souboru apod.)
$O(t)$	odhad spotřeby v hodině t
$P(t)$	průměrný výkon během intervalu
$TDD(t)$	koeficient TDD pro danou sazbu
$W(t)$	celková spotřeba v intervalu t
b	práh v umělém neuronu
g	aktivační funkce umělého neuronu
n	počet bodů (např. časových úseků pro výpočet ukazatele)
$p(t)$	okamžitý výkon v čase t
$x(t)$	spotřeba (resp. normovaná veličina) v čase t
$z(t)$	Z-skóre v čase t
μ	průměr veličiny, zpravidla průměr spotřeby OM
σ	směrodatná odchylka veličiny, zpravidla směrodatná odchylka spotřeby OM

A.2 Seznam zkratk

1F	jednofázový, jedna fáze
2T	dvoutarifní (ve smyslu dvoutarifních distribučních sazeb)
3F	třífázový, tři fáze
ACER	<i>Agency for the Cooperation of Energy Regulators</i>
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>

AMM	<i>Automated Meter Management</i>
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
BB	<i>Broadband</i>
BR	<i>Bayesian regularization backpropagation</i>
CBA	<i>Cost-benefit Analysis</i>
ČR	Česká republika
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DL	<i>Deep Learning</i>
DS	distribuční soustava
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EDSN	<i>Energie Data Services Nederland</i>
EI	<i>Energimarknadsinspektionen</i>
EU	Evropská Unie
FFNN	<i>Feedforward Neural Network</i>
FVE	fotovoltaická elektrárna
GPT	<i>Generated Pre-trained Transformer</i>
HAN	<i>Home-area network</i>
HDO	hromadné dálkové ovládání
ID	identifikace
IHD	<i>In-Home Display</i>
ISP	<i>Independent Service Provider</i>
LSTM	<i>Long-short-term-memory</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MPO	ministerstvo průmyslu a obchodu
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
NAP SG 2018	národní akční plán pro Smart Grids aktualizovaný pro období 2019-2030
NB	<i>Narrowband</i>
NIMBY	<i>Not in my backyard</i>
NN	nízké napětí
NT	nízký tarif
OM	odběrné místo/odběrná místa
OSGP	<i>Open Smart Grid Protocol</i>
OZE	obnovitelné zdroje energie
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PLC	<i>Power Line Communication</i>

PPP±20%	parametr průměrného překročení predikce o více než 20 % v abs. hodnotě
PpS	podpůrné služby
PS	přenosová soustava
RELU	<i>Rectified Linear Unit</i>
RL	<i>Reinforcement Learning</i>
RMSE	<i>Root-mean-square Error</i>
SAIDI	<i>System Average Interruption Duration Index</i>
SAIFI	<i>System Average Interruption Frequency Index</i>
SG	<i>Smart Grids</i>
SIPS	<i>Sistema de Información de Puntos de Suministro</i>
SL	<i>Supervised Learning</i>
SM	<i>Smart Meter</i>
SMETS1	<i>Smart Metering Equipment Technical Specifications</i> první generace
SMETS2	<i>Smart Metering Equipment Technical Specifications</i> druhé generace
SSE	<i>Sum of Squared Errors</i>
SW	Software
TDD	typový diagram dodávky / typové diagramy dodávky
UK	Spojené království Velké Británie a Severního Irska (z <i>United Kingdom</i>)
UL	<i>Unsupervised Learning</i>
VT	vysoký tarif
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>

PŘÍLOHA B: VÝPOČETNÍ A DATOVÉ SOUBORY

Vstupní data jsou v rámci příloh s ohledem na jejich anonymizaci uváděna pouze formou příkladů, podobně jako databáze, které s těmito daty pracují (tedy i výstupní databáze)

B.1 Vstupní data

B.1.1 Vstupní data před úpravou

Na obrázku B-1 je uveden příklad podoby dat o spotřebě pro jedno odběrné místo. Tato data byla rozdělena podle jednotlivých lokalit a jednotlivých transformačních stanic. Významné jsou pouze sloupce Device ID, Timestamp a ActiveEnergyImp (stav elektroměru).

DeviceID	Timestamp	ActiveEnergyExp	ActiveEnergyImp	ReactiveEnergyQ	ReactiveEnergyQ	ReactiveEnergyQ	ReactiveEnergyQ	InstCurrent1	InstCurrent1	InstCurrent2	InstCurrent2	InstCurrent3	InstCurrent3	InstVoltage1	InstVoltage2	InstVoltage3
ADX0012635423	31.12.2018 0:15	1284	737021	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 0:30	1284	737026	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 0:45	1284	737030	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 1:00	1284	737041	NULL	NULL	NULL	NULL	0,4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 1:15	1284	737050	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 1:30	1284	737065	NULL	NULL	NULL	NULL	0,6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 1:45	1284	737105	NULL	NULL	NULL	NULL	0,4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 2:00	1284	737126	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 2:15	1284	737155	NULL	NULL	NULL	NULL	0,6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 2:30	1284	737188	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 2:45	1284	737209	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 3:00	1284	737230	NULL	NULL	NULL	NULL	0,4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 3:15	1284	737252	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 3:30	1284	737283	NULL	NULL	NULL	NULL	0,6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 3:45	1284	737314	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 4:00	1284	737335	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 4:15	1284	737356	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 4:30	1284	737377	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 4:45	1284	737610	NULL	NULL	NULL	NULL	9,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 5:00	1284	737822	NULL	NULL	NULL	NULL	0,4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 5:15	1284	737843	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 5:30	1284	737864	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 5:45	1284	737885	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 6:00	1284	737920	NULL	NULL	NULL	NULL	0,6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 6:15	1284	737947	NULL	NULL	NULL	NULL	0,3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 6:30	1284	737959	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
ADX0012635423	31.12.2018 6:45	1284	737964	NULL	NULL	NULL	NULL	0,1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Obr. B-1: Vstupní data o spotřebě – příklad

Na obrázku B-2 je uveden příklad kmenových dat s údaji o odběrném místě,

Seriové č. výrobce	OM	Jistič	Počet fází	Typ tarifu	OM ID
12635423	9110102496	15	1F	D25d+produkt	ADX0012635423
12635430	9110396463	16	1F	D02d	ADX0012635430
12635460	9110102469	25	1F	D02d+produkt	ADX0012635460
12635483	9110102482	25	1F	D01d+produkt	ADX0012635483
12635534	9110641734	15	1F	C01d+produkt	ADX0012635534
12635603	9110102456	15	1F	D02d+produkt	ADX0012635603
12635625	9110903963	25	1F	C02d+produkt	ADX0012635625
12635629	9110396441	25	1F	D02d+produkt	ADX0012635629
12635424	9110102581	25	1F	C02d+produkt	ADX0012635424
12635480	9110102856	20	1F	D02d+produkt	ADX0012635480
12635587	9110832468	25	1F	C02d+produkt	ADX0012635587
12635436	9110918263	25	1F	D02d+produkt	ADX0012635436
12635571	9110641725	20	1F	C01d+produkt	ADX0012635571
12635585	9110495541	25	1F	D02d+produkt	ADX0012635585
12635517	9110396589	25	1F	D02d+produkt	ADX0012635517
12635641	9110719696	20	1F	D02d+produkt	ADX0012635641
12635527	9110102508	20	1F	D02d+produkt	ADX0012635527
12635509	9110102426	20	1F	D02d	ADX0012635509
12635543	9110235927	25	1F	C01d+produkt	ADX0012635543

Obr. B-2: Vstupní data v podobě kmenových dat – příklad

Na obrázku B-3 je uveden příklad dat o spotřebě v minulých letech pro jednotlivá OM. NT a VT jsou rozlišeny podle registru, do kterého je údaj o stavu měřidla uložen.

Odběrné místo	Datum odečtu	Odečtený stav měřidla	Registr
9110396341	11.05.2018	3.386	2
9110102175	11.05.2018	1.949	1
9110102175	11.05.2018	3.684	2
9110102226	11.05.2018	5.315	1
9110102137	11.05.2018	3.406	1
9110102137	11.05.2018	6.820	2
9110102151	11.05.2018	6.885	1
9110102163	11.05.2018	400	1
9110102163	11.05.2018	212	2
9110102110	11.05.2018	1.983	1
9110641706	11.05.2018	432	1
9110497461	11.05.2018	1.474	1
9110102195	11.05.2018	12.370	1
9110102195	11.05.2018	5.633	2
9110102083	11.05.2018	3.496	1
9110102070	11.05.2018	2.027	1
9110102123	11.05.2018	2.824	1
9110102096	11.05.2018	1.826	1
9110102096	11.05.2018	5.896	2
9110102059	11.05.2018	2.531	1
9110019821	11.05.2018	4.251	1
9110495357	11.05.2018	6.455	1
9110495261	11.05.2018	4.152	1
9110495241	11.05.2018	2.257	1
9110020465	11.05.2018	2.988	1
9110495181	11.05.2018	12.277	1
9110495541	11.05.2018	22.015	1

Obr. B-3: Vstupní data o ročních spotřebách – příklad

B.2 Výpočetní soubory

B.2.1 Úprava dat

Data byla upravována s pomocí MS Excel a s pomocí Wolfram Mathematica. Sešit Wolfram Mathematica je přiložen pod označením „prilohaB21.nb“.

B.2.2 Soubor modelování neuronové sítě

Pro modelování neuronové sítě byl použit SW Matlab. Část funkcí byla generována s pomocí implementované možnosti importu dat do SW Matlab. Použité funkce jsou přiloženy v komprimovaném archivu s označením „prilohaB22.zip“.

B.3 Výstupní data

B.3.1 Metoda ANN

Výstupy z metody ANN a statistiky použité v této práci jsou uvedeny v sešitu MS Excel, který je přiložen pod označení „prilohaB31.xlsb“. Byl použit binární sešit Excel pro zmenšení velikosti souboru.

B.3.2 Metoda TDD

Vypracování, výstupy a statistiky metody TDD použité v této práci jsou uvedeny v sešitu MS Excel, který je přiložen pod označení „prilohaB32.xlsb“. Byl použit binární sešit Excel pro zmenšení velikosti souboru.