

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2022

Bc. Radim Čuhel



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## IOT SYSTÉM PRO OPTIMALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE VÝROBNÍHO ZÁVODU

IOT SYSTEM FOR FACTORY ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radim Čuhel

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Mgr. Karel Slavíček, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Radim Čuhel

**ID:** 203201

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **IoT systém pro optimalizaci spotřeby energie výrobního závodu**

**POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je navrhnout a implementovat systém čidel pro měření spotřeby energie výrobního závodu připojeného na více rozvoden elektrické energie, optimalizace rozložení spotřeby energie v čase a rovnoměrné využití zdrojů energie.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] LEA, Perry. Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security. Packt Publishing Ltd, 2018.
- [2] Stojmenovic I., Handbook of Sensor Networks, Wiley, ISBN:13 978-0-471-68472-5, 2005.

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 24.5.2022

**Vedoucí práce:** doc. Mgr. Karel Slaviček, Ph.D.

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá měřením elektrické spotřeby ve výrobním závodu Draka Kabely ve Velkém Meziříčí. Hlavní řešení problému v teoretické části je popis obecné distribuce elektrické energie v ČR, popis výrobního závodu a měření elektrické energie společně s principy regulace naměřené energie. Praktická část práce je zaměřena na implementaci měřících čidel do modelu podnikové sítě. Nastavení a zprovoznění čidel společně s možnostmi regulace spotřebované energie. Výsledek této práce bude použit ke zlepšení regulace a využití elektrické energie ve výrobním závodu.

## **Klíčová slova**

Distribuční síť  
Výrobní závod  
Měření  
Řídicí systém  
Čidlo  
Regulace  
Spotřeba energie

## **Abstract**

This work deals with the measurement of electricity consumption in the production plant Draka Kabely in Velké Meziříčí. The main solution to the problem in the theoretical part is a description of the general distribution of electricity in the Czech Republic, a description of the production plant and the measurement of electricity together with the principles of regulation of measured energy. The practical part of the work is focused on the implementation of measuring sensors in the corporate network model. Setting and commissioning of sensors together with the possibilities of regulating the consumed energy. The result of this work will be used to improve the regulation and use of electricity in the production plant.

## **Keywords**

Distribution network  
Manufacturing plant  
Measurement  
Control system  
Sensor  
Regulation  
Power consumption

## **Bibliografická citace**

ČUHEL, Radim. *IoT systém pro optimalizaci spotřeby energie výrobního závodu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/138908>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Karel Slaviček.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Radim Čuhel</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>203201</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Diplomová práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2021/22</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>IoT systém pro optimalizaci spotřeby energie výrobního závodu</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 1. prosince 2021

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>	<b>11</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>1. DISTRIBUCE ELEKTRICKÉ ENERGIE .....</b>	<b>13</b>
1.1 DISTRIBUČNÍ SÍŤ V ČR .....	13
1.2 PŘENOSOVÁ SOUSTAVA.....	14
1.3 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA .....	16
1.3.1 <i>Velmi vysoké napětí</i> .....	17
1.3.2 <i>Vysoké napětí</i> .....	17
1.3.3 <i>Nízké napětí</i> .....	17
1.4 ČTVRTHODINOVÉ MAXIMUM.....	18
1.4.1 <i>Sankce při překročení čtvrt hodinového maxima</i> .....	18
1.5 CENA SPOTŘEBOVANÉ ENERGIE .....	19
<b>2. CHARAKTERISTIKA ČINNOSTÍ PODNIKU V PRYSMIAN GROUP .....</b>	<b>20</b>
2.1 SPOTŘEBIČE ENERGIE VE VÝROBNÍM ZÁVODU .....	21
2.1.1 <i>Výrobní část</i> .....	21
2.1.2 <i>Výrobní hala HS320</i> .....	22
2.1.3 <i>Výrobní hala HS330</i> .....	22
2.1.4 <i>Výrobní hala HS340</i> .....	25
2.1.5 <i>Rozložení elektrické energie HS320, HS330, HS340</i> .....	26
2.2 PŘÍVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE DO VÝROBNÍHO ZÁVODU .....	27
<b>3. MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....</b>	<b>31</b>
3.1.1 <i>Jalová energie</i> .....	32
3.2 MĚŘENÍ SPOTŘEBY SPOTŘEBIČŮ VE VÝROBNÍM ZÁVODU .....	34
3.3 TYPY POUŽITELNÝCH ELEKTROMĚRŮ.....	36
3.4 PRINCIPY REGULACE SPOTŘEBY VE VÝROBNÍM ZÁVODU .....	38
3.4.1 <i>Regulovatelné spotřebiče</i> .....	39
<b>4. NÁVRH ŘEŠENÍ .....</b>	<b>40</b>
<b>5. PRAKTICKÁ IMPLEMENTACE .....</b>	<b>42</b>
5.1 TOPOLOGIE PODNIKOVÉ SÍTĚ .....	42
5.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A ZAPOJENÍ .....	44
5.2.1 <i>Novar</i> .....	44
5.2.2 <i>Přepínač</i> .....	44
5.2.3 <i>Ústředna</i> .....	45
5.2.4 <i>Zobrazení měřených dat</i> .....	46
5.2.5 <i>Architektura zapojených přístrojů</i> .....	49
5.3 KONFIGURACE.....	50
5.3.1 <i>Konfigurace čidla Novar</i> .....	50

5.4	PRINCIP KOMUNIKACE ČIDEL A ÚSTŘEDNY .....	52
5.5	VYTIPOVÁNÍ SPOTŘEBIČŮ.....	52
5.5.1	<i>Budova</i> .....	52
5.5.2	<i>Technologie</i> .....	53
5.5.3	<i>Příklad výroby jednoho typu kabelu</i> .....	53
5.6	MOŽNOSTI ŘÍZENÍ SPOTŘEBY.....	55
5.6.1	<i>Teoretické možnosti řízení spotřeby</i> .....	55
5.6.2	<i>Reálná praxe</i> .....	56
5.6.3	<i>Spotřeba nabíječek pro vysokozdvížné vozíky</i> .....	56
5.6.4	<i>Krátkodobý efekt snížení spotřeby</i> .....	57
5.6.5	<i>Dlouhodobý efekt snížení spotřeby</i> .....	58
5.7	PŘEDPOKLAD UŠETŘENÉ CENY ZA ENERGII .....	58
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
	<b>LITERATURA</b> .....	<b>61</b>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ČR	Česká Republika
ČEZ	České energetické závody
EHC	
PVC	Polyvinylchlorid
VVN	Velmi vysoké napětí
VN	Vysoké napětí
NN	Nízké napětí
PLDS	Provozovatel lokální distribuční soustavy
LDS	Lokální distribuční soustavy
DPH	Daň z přidané hodnoty

## Symboly:

$U$	napětí	[V]
$I$	proud	[A]
$P$	výkon	[W]
$Z$	impedance	[ $\Omega$ ]
$S$	zdánlivý výkon	[VA]
$Q$	jalový výkon	[VAr]
$\cos\varphi$	účinník	[-]

# SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: VÝROBA A ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	13
OBRÁZEK 2: SCHÉMA SÍTÍ 220KV A 400KV .....	15
OBRÁZEK 3: VÝROBNÍ ZÁVOD DRAKA VELKÉ MEZIŘÍČÍ .....	20
OBRÁZEK 4: LINKA HRUBOTAŽENÍ .....	22
OBRÁZEK 5: LINKA JEMNOTAŽENÍ .....	23
OBRÁZEK 6: PROCES NANÁŠENÍ KLOUZKU A IZOLAČNÍHO MATERIÁLU .....	23
OBRÁZEK 7: PROCES PLÁŠŤOVÁNÍ LANOVÉHO ZEMNÍHO VODIČE.....	24
OBRÁZEK 8: PROCES CHLAZENÍ OPLÁŠŤOVANÝCH VODIČŮ .....	24
OBRÁZEK 9: PROCES STÁČENÍ TŘÍVODIČOVÉHO KABELU .....	25
OBRÁZEK 10: LINKA NA VÝROBU PLOCHÝCH VÝTAHOVÝCH KABELŮ .....	26
OBRÁZEK 11: TOPOLOGICKÁ SÍŤ ROZVODEN ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	28
OBRÁZEK 12: FÁZOVÝ DIAGRAM JALOVÉHO VÝKONU .....	33
OBRÁZEK 13: HLAVNÍ ELEKTROMĚR .....	35
OBRÁZEK 14: ELEKTROMĚR NOVAR 2400.....	37
OBRÁZEK 15: BLOKOVÉ SCHÉMA ŘEŠENÍ.....	41
OBRÁZEK 16: SCHÉMA TOPOLOGIE VÝROBNÍHO ZÁVODU.....	43
OBRÁZEK 17: ZAPOJENÍ PŘEPÍNAČE V ROZVADĚČI .....	45
OBRÁZEK 18: ZAPOJENÍ SERVERU V ROZVADĚČI .....	45
OBRÁZEK 19: INTERNETOVÉ PROSTŘEDÍ MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU .....	46
OBRÁZEK 20: GRAF NEMĚŘENÉ SPOTŘEBY.....	47
OBRÁZEK 21: GRAF FAKTURAČNÍHO ELEKTROMĚRU .....	47
OBRÁZEK 22: SCHÉMA ROZLOŽENÍ ENERGIE DO JEDNOTLIVÝCH ROZVODEN.....	48
OBRÁZEK 23: GRAF PROCENTUÁLNÍHO VYUŽITÍ 1/4HODINOVÉHO MAXIMA.....	48
OBRÁZEK 24: GRAF SOUČTU SPOTŘEBY ROZVODEN .....	49
OBRÁZEK 25: ARCHITEKTURA ZAPOJENÝCH PŘÍSTROJŮ .....	50
OBRÁZEK 26: REZERVACE IP ADRESY NA DHCP SERVERU.....	51
OBRÁZEK 27: BLOKOVÉ SCHÉMA VÝROBNÍHO PROCESU VÝTAHOVÉHO KABELU .....	54
OBRÁZEK 28: BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘÍČÍ SOUSTAVY NABÍJEČEK PRO VOZÍKY.....	57
OBRÁZEK 29: GRAF PROCENTUÁLNÍHO VYUŽITÍ 1/4HODINOVÉHO MAXIMA.....	59

## SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: ROZLOŽENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE NA HS320 .....	27
TABULKA 2: ROZLOŽENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE NA HS330 .....	27
TABULKA 3: ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE NA HS340 .....	27
TABULKA 4: CELKOVÉ ROZLOŽENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE V HORNÍ BUDOVĚ DRAKA KABELY .....	27
TABULKA 5: SPOTŘEBIČE PŘIPOJENY DO TRAFOSTANIC NN .....	30
TABULKA 6: TABULKA REGISTRŮ PRO ELEKTROMĚR NOVAR 2400 .....	38
TABULKA 7: ROZSAHY ADRES MÍSTNÍ PODNIKOVÉ SÍTĚ .....	42
TABULKA 8: PŘIŘAZENÍ IP ADRESY ČIDLŮM NOVAR .....	51
TABULKA 9: ROZLOŽENÍ ČIDEL NOVAR PODLE ROZVODEN ENERGIE .....	52
TABULKA 10: SPOTŘEBA ENERGIE PŘI VÝROBĚ 1 KM VÝTAHOVÉHO KABELU .....	53
TABULKA 11: TEORETICKÁ SPOTŘEBA OSVĚTLENÍ .....	56

## SEZNAM ROVNIC

ROVNICE 1: VÝPOČET ZTRÁTOVÉHO VÝKONU .....	14
ROVNICE 2: JALOVÝ VÝKON .....	33
ROVNICE 3: ČINNÝ VÝKON .....	33
ROVNICE 4: ZDÁNLIVÝ VÝKON .....	34
ROVNICE 5: ÚČINÍK .....	34

# ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací spotřeby elektrické energie ve výrobním závodu Draka Kabely v koncernu Prysmian Group.

V minulosti byl velký důraz na velké množství výroby, avšak spotřeba elektrické energie k těmto účelům bylo opomíjené téma. Hlavním cílem bylo vyrobit co nejvíce produktů a uspokojit trh. V dnešní době jsou vysoké nároky na výrobu a poptávka produktů stále stoupá. Zpočátku firmy neví, kolik budou potřebovat ke své funkci a výrobě energie a tuto hodnotu pouze odhadují. Existují možnosti, jak tyto odhady převést na skutečné hodnoty, které se přibližují reálné spotřebě. Výrobní podniky se stále více začínají zajímat o to, kolik potřebují nakoupit elektrické energie k tomu, aby mohli fungovat a rozvrhnout spotřebu závodu, tak aby platili co nejmenší částky za energie a vyhnuli se placení zbytečných poplatků a pokut za překročení domluvených hodnot s poskytovateli elektrické energie.

V této práci se zaměříme na optimalizaci spotřeby výrobního závodu a tím i možné snížení ceny za rezervovanou hodnotu energie. Rezervace maxima je sjednána na každý čtvrt hodinový interval. V současné době je nasmlouvané dostatečné maximum, aby nedocházelo k překročení. Pomocí této práce bude možné v budoucnu snížit finanční náklady za čtvrt hodinové maximum. Přibližně by se mohlo jednat o jednotky procent. Co se týče výrobního závodu ve Velkém Meziříčí, mělo by se jednat o stovky tisíc ročně.

Na začátku je popis distribuční sítě elektrické energie u nás v České republice. V úvodních kapitolách jsou popsány klíčové poznatky o distribuční síti společně s přívodem elektrické energie do výrobního závodu, následně úprava hodnot napětí před samotným použitím energie výrobními stroji a dalšími spotřebiči.

V kapitolách 2 a 3 je uveden přehled struktury výrobního závodu Draka Kabely Velké Meziříčí a vlastností klíčových technologických procesů z pohledu požadavků na odběr elektrické energie a možnosti regulace odběru energie u těchto strojů.

Třetí kapitola popisuje druhy a metody měření spotřeby elektrické energie. Provedl jsem analýzu a návrh řešení implementace elektroměrů Novar. Elektroměry jsou implementovány a oživeny. V současné době probíhá sběr dat. Úspory a optimalizace spotřeby se plánují u nabíječek pro vysokozdvizné vozíky. Dále jsou naplánované výměny kompresorů společně s tlakovými nádobami na stlačený vzduch. Byla provedena výměna starých zářivkových svítidel za moderní regulovatelné led světla.

Prozatím by byla možná pouze manuální regulace, kterou by řešili plánovači výroby tak, aby nedocházelo ke špičkám v odběru elektrické energie. Do budoucna je plánovaná regulace i pomocí řídicího systému.

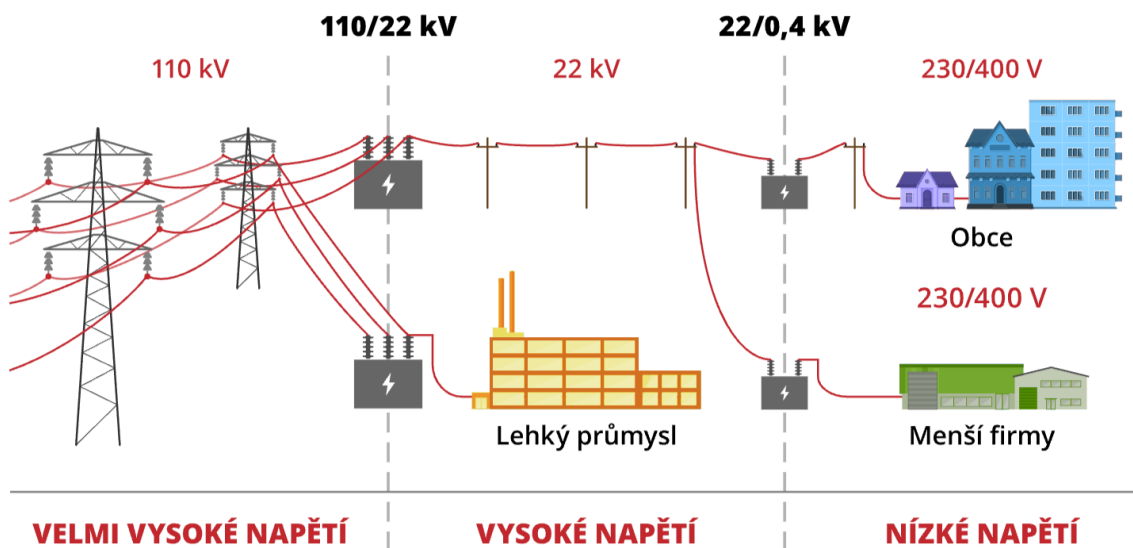
Cílem této diplomové práce bylo shromáždění informací o spotřebě výrobního závodu, díky čemuž byly implementovány měřicí čidla do rozvoden pro možné snížení ceny za odebranou elektrickou energii.

# 1. DISTRIBUCE ELEKTRICKÉ ENERGIE

## 1.1 Distribuční síť v ČR

Distribuční soustava může být chápána jako propojovací technologie pro přenos a rozvod elektrické energie o určitých hodnotách a parametrech na velké vzdálenosti. Tyto soustavy zajišťují přenos elektrické energie od poskytovatele (výrobce), až ke koncovému uživateli (odběrateli). Přenosová soustava se skládá z cesty od výrobců k velkým rozvodnám. Od velkých rozvodnů ke koncovým odběratelům se nazývá distribuční soustava, která zajišťuje distribuci elektrické energie. Hodnoty napětí v distribuční síti se v ČR pohybují v rozmezí 0,23 až 22kV.

Velkou nevýhodou elektrické energie je, že není skladovatelná ve velkém množství. Z tohoto důvodu musíme chytře plánovat výrobu a spotřebu. Důležitým faktorem je také dodržovat, aby fázový posun mezi napětím a proudem byl nízký. V distribuční cestě elektrického proudu jsou proto instalovány kompenzační zařízení. [1][19]



Obrázek 1: Výroba a rozvod elektrické energie [1]

## 1.2 Přenosová soustava

U moderních systémových zdrojů elektrické energie je používán výkon o hodnotě stovek MW. U těchto zdrojů jsou použity alternátory pracující se jmenovitým napětím od 10 do 15kV. V případě použití tohoto napětí vznikají velké ztráty, protože se zde pohybujeme v hodnotách jednotek, až desítek kA. Řešením je zvýšit napětí při použití transformátorů, které nám transformují napětí na hodnoty používané přenosovou soustavou. V České republice je přenosová soustava vytvořena ze sítí dvou úrovní s hodnotami napětí 220 nebo 400kV. Ve státech s mnohonásobně větší rozlohou pracují přenosové soustavy s napětím o hodnotách 750kV nebo přes 1MV tak, aby docházelo k co nejmenším ztrátám vedením. Hlavním významem je spojení z velkých elektráren do menších sítí, kterým říkáme distribuční soustavy, o kterých pojednává další kapitola.

Cílem je minimalizovat ztráty, které vznikají při tomto přenosu a jsou závislé na impedanci přenosového vedení a druhé mocnině proudu, který protéká vedením.

$$P_z = Z * I^2$$

kde:

$P_z$ -ztrátový výkon, který se mění na teplo [W]

$Z$ -impedance přenosového vedení [ $\Omega$ ]

$I$ -proud protékající vedením [A]

Rovnice 1: Výpočet ztrátového výkonu

Z těchto důvodů se při přenosu velkých výkonů na velké vzdálenosti používá převážně zvláště vysoké a velmi vysoké napětí (220 nebo 400 kV), kde je hodnota proudu relativně malá a vznikají tak malé ztráty. [2]

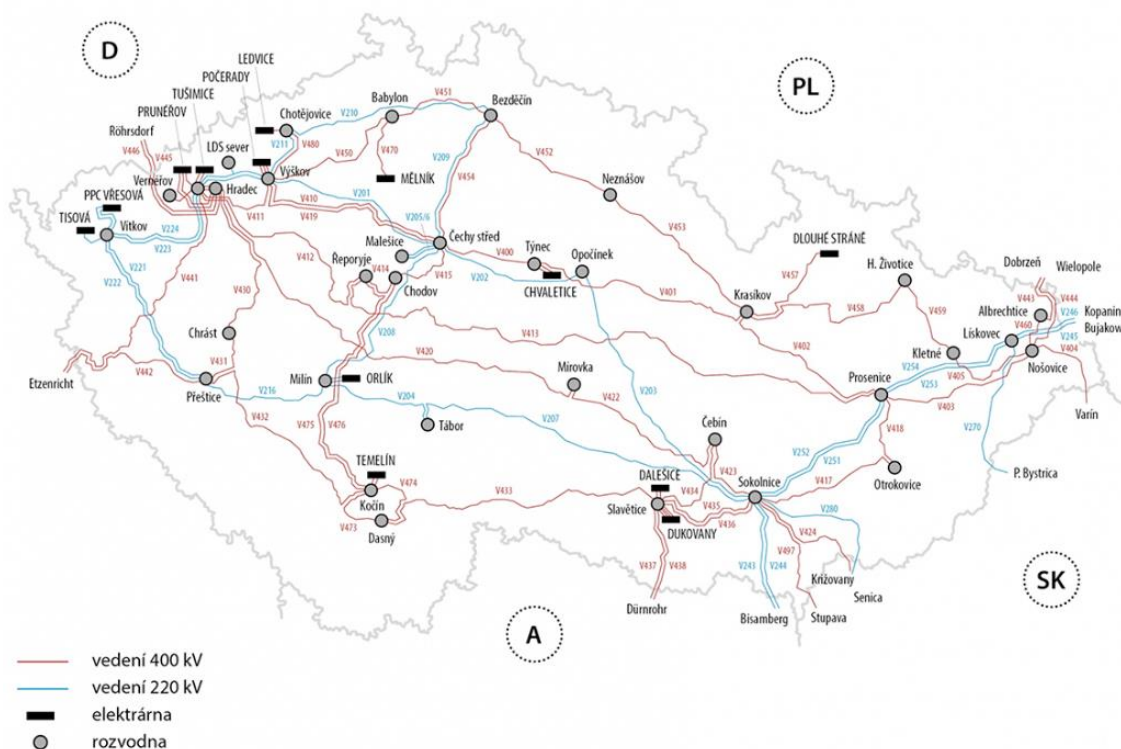
Důležitými prvky přenosových soustav jsou elektrické stanice, které můžeme chápat jako křižovatky mezi přenosovými vedeními. Tyto stanice mohou mít více účelů. Dělí se na měnící, spínací stanice a transformační stanice. Většinou jsou spojeny do jedné stanice, v níž se nachází i několik rozvodů, která umí všechny zmíněné kroky. V České republice je nejvíce elektrických rozvodů na 400kV, kterých je 28. Zatím co na 220kV jich je 14.

Přenosová síť se skládá z dlouhých nadzemních vedení přenosových linek a uzlů. Uzly jsou myšleny rozvodny, kde jsou tyto linky začátky nebo konce. Síť je vzájemně propojena, protože v případě výpadku jedné z linek ji zastoupí jiná linka a dojde k rekonfiguraci sítě, aby nedocházelo k výpadku v postižené oblasti. Zátěž, která vznikne výpadkem některé z linek, nahradí jiné prvky, které jsou stále v provozu. Tímto je

splněno bezpečnostní kritérium N-1, které se zabývá fungováním přenosové soustavy v případě výpadku některých prvků sítě nebo i zdroje. Jak bylo zmíněno výše, přenosové soustavy se nevyužívají pouze k přenosu elektrické energie v rámci konkrétního státu, ale také jako spojení s páteřními spoji okolních států. V tuto chvíli má Česká republika 11 přeshraničních vedení, které disponují napětí o úrovni 400kV a 6 vedení s hodnotami 220kV. Spoje mezi státy slouží také k vyrovnávání zátěže a stabilizaci sítě. Dalším využitím je zlepšení dodávky elektrické energie při náhlých výpadcích zdrojů, nebo při nestandartních situacích.

Toto nadzemní vedení elektrické energie pro velmi vysoké (220kV) a zvláště vysoké napětí (400kV) má v České republice délku zhruba 3700 km. Většinu této vzdálenosti tvoří jednoduchá vedení a zhruba 1/3 této délky je použito pro dvojitá nebo vícenásobná vedení. Vedení pro velmi vysoké napětí má délku zhruba 1900 km, přičemž více než polovina tvoří vícenásobná vedení.

### Schéma sítí 400 kV a 220 kV



Obrázek 2: Schéma sítí 220kV a 400kV [2]

## 1.3 Distribuční soustava

Distribuční soustava je článek propojující přenosovou soustavu s koncovými spotřebiteli elektrické energie, jako jsou například domácnosti a malé firmy. Cestou mezi přenosovou soustavou a koncovými spotřebiteli dochází ke změně parametrů přenášené energie, hlavně u hodnoty napětí. Vztah, který tento problém řeší je uveden výše v kapitole o přenosové soustavě.

V těchto menších sítích se nacházejí transformační stanice, které dále pracují s napětím o hodnotách 110kV u velkoodběratelů. V některých případech jsou tyto stanice pro 110kV zařazeny do přenosové soustavy. V České republice je pouze jediná rozvodna, která disponuje touto hodnotou napětí.

Vysokonapěťové vedení jsou rozsáhlá a rozměrově velká, ale především jsou drahá. K využívání vysokého napětí jsou potřeba náročná a složitá zařízení, proto je tento přenos ke koncovým spotřebitelům složitý a především drahý. Proto je k těmto účelům vytvořena distribuční soustava, která spočívá v postupné zmenšování hodnoty napětí na hodnotu, kterou koncový uživatelé spotřebují. Mezi hlavní zařízení distribuční soustavy patří především distribuční transformátory a zařízení, která rozdělují přenášený výkon do dalších větví. Tyto navazující větve disponují nižším napětím. V České republice jsou tyto úrovně napětí rozdělena do tří kategorií.

- Síť velmi vysokého napětí: 110kV
- Síť vysokého napětí: 3, 6, 10, 22, 35kV
- Síť nízkého napětí: 230/400V

Čím je hodnota napětí menší, tím by měla být i přenášená vzdálenost kratší.

Aby distribuce elektřiny byla plynulá a bezpečná, je potřeba různých systémů. Patří mezi ně systémy zajišťující ochranu, zabezpečení, měření parametrů a v neposlední řadě přenos těchto informací. Přenos těchto informací je pro distribuci klíčový k odhalování poruch a chyb. V České republice jsou tři hlavní poskytovatelé systémů (ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce a PRE distribuce).

### 1.3.1 Velmi vysoké napětí

Linky s napětím 110kV slouží pro spojení distribuční soustavy a transformovny přenosové soustavy. Dalšími úpravami se zprostředkovává převod napětí elektrické energie na nižší stupeň vysokého napětí. Linka s tímto napětím disponuje vysokou spolehlivostí, je zálohovaná a dobře propojená s ostatními linkami.

Pro vysoké napětí jsou použita venkovní vedení, která jsou sestavena příhradovými stožáry. K izolaci se používají porcelánové izolátory, visící na třech kovových lanech o průřezu 2cm<sup>2</sup>. Používají se vedení dvojitá, trojitá nebo i čtyřnásobná. Každé třívodičové vedení dokáže přenést elektrický výkon o hodnotě 100 MW, což stačí k provozu zhruba 10 000 domácností. Pro uzemnění stožárů je použito doplňující čtvrté lano k ochraně při úderu bleskem. Uvnitř zemnicího lana obvykle vedou optické kabely pro optické a komunikační potřeby.

### 1.3.2 Vysoké napětí

Jak bylo řečeno v předešlém odstavci, prvním krokem v cestě elektrického napětí v distribuční soustavě je velmi vysoké napětí. Dalším krokem je snížení hodnoty elektrické energie na nižší hodnotu. Největší zastoupení u nás má hodnota 22kV, v severních a východních Čechách je převážně použito 35kV. Napětí o úrovních 3, 6, 10 až 22kV je převážně použito v lokálních částech distribučních sítí. V dnešní době se už dále nepodporují a nerozvíjí úrovně nižší než 22kV, která je standartní.

Topologie sítí vysokého napětí se většinou používají v paprskovém provedení. Kořenem je transformační stanice, ze které vedou paprsky vedení vysokého napětí.

### 1.3.3 Nízké napětí

Poslední úroveň napětí distribučních soustav jsou nízkonapěťové sítě. Transformace tohoto napětí slouží pro přímé napájení míst, kam jsou připojeni koncoví spotřebitelé. Topologie těchto sítí je podobná jako topologie u sítí s vysokým napětím. Z transformační stanice vychází paprskové zapojení, které je transformováno na známé standartní napětí 3\* 230/400V s frekvencí 50Hz. Toto napětí je používáno majoritní částí spotřebitelů. V městských částech se preferuje kabelové vedení, které je nataženo v trubkách a rourách pod zemí. Zatímco ve vesnických podmínkách jsou tato vedení použita ve variantě venkovního vedení, protože tento typ vedení je finančně dostupnější pro vybudování a opravy. [3][4]

## 1.4 Čtvrthodinové maximum

Požadavek distributora elektrické energie je, aby měl u svých sjednaných odběratelů ideálně konstantní odběr energie. Výrobce elektrické energie se proto zajímá, aby u jeho spotřebitelů nedocházelo k nadměrnému odběru energie v krátkém intervalu, takzvanému špičkovému odběru. Každý zákazník, který má smlouvu obsahující čtvrthodinové maximum, nesmí přesáhnout čtvrthodinový maximální odběr, jinak by platil vysoké pokuty. Pro hlídání tohoto maxima je nainstalovaný digitální elektroměr umístěný při vstupu elektrické sítě do výrobního závodu. Jestliže má spotřebitel nasmlouvaný vyšší čtvrthodinový tarif, nemusí se bát o jeho překročení, avšak v tomto případě konečný spotřebitel zbytečně platí vyšší ceny za vyšší kapacitu. Ideálním řešením je mít 5-10% vyšší čtvrthodinový tarif, než je maximální odběr.

Pro regulaci těchto limitů se používají regulátory čtvrthodinového maxima. Regulátory dokážou číst aktuální odběr energie, a tím i vypínat nepotřebné části sítě, aby klesla spotřeba. Při automatickém odpojování zátěže, však nastává riziko pro výrobní procesy. Problém by nastal, kdyby se vypla část sítě, která musí v dané chvíli pracovat.

Cena za smlouvanou čtvrthodinovou rezervaci se domlouvá rok dopředu. V případě snížení nebo zvýšení rezervované hodnoty je možná změna v každém čtvrtletí. Avšak cena je stále stejná. Zakázky pro zákazníky se řeší v rámci tří měsíců, kdy je pohled do budoucnosti realistický.

### 1.4.1 Sankce při překročení čtvrthodinového maxima

V případě, kdy se odběratel nevejde do předem smlouvaného čtvrthodinového limitu, následuje velká pokuta. Obecně je za překročený kW výkonu sankce ve výši 5násobku smlouvané ceny za kW. Prevenci k tomuto překročení limitu odběratel využívá navýšení limitu tak, aby měl v odběru energie dostatečnou rezervu. Tímto řešením se odběratel vyvaruje potížím, ale jeho cena za energii bude větší, než by bylo potřeba. Tímto způsobem bude platit 12krát ročně větší cenu. K překročení limitu běžně dochází v zimních měsících, kdy je potřeba více topit nebo jsou potřeba dodělat zakázky a linky běží takřka nonstop. [6]

## 1.5 Cena spotřebované energie

Výsledná cena energie na faktuře, ať už elektřiny nebo plynu, se skládá z několika částí.

### 1. Platby dodavateli (neregulovatelné). Dodavatele si vybíráte.

- Cena za spotřebované kWh.
- Stálý měsíční poplatek za dodávku

### 2. Platby distributorovi, operátorovi trhu a státu (regulované)

Poplatky za dopravu, údržbu elektrické nebo plynové sítě, podporu "obnovitelné energie", daně.

Území ČR je rozděleno pod správu několika distributorů. Distributora nelze vybrat, je dán Vaší adresou.

Výše plateb je regulována Energetickým regulačním úřadem.

### 3. Elektřina podléhá dani z přidané hodnoty a dani z elektřiny.

Součástí ceny elektřiny tvoří rovněž spotřební daň z elektřiny ze zavedených tzv. ekologických daní vyplývajících z našich závazků vůči Evropské unii. Daň odvádí dodavatel elektřiny Celní správě hromadně za všechny své zákazníky. Sazba daně je pro všechny jednotná a činí 28,30 Kč/MWh bez DPH. [9]

## 2. CHARAKTERISTIKA ČINNOSTÍ PODNIKU V PRYSMIAN GROUP

Společnost Prysmian Group je celosvětovou špičkou v oblasti výroby elektrických a telekomunikačních kabelů a systémů. S více než 130letou tradicí a přítomností ve více než 50 zemích světa, 19 000 zaměstnanci a 91 závody drží společnost pevnou pozici v odvětvích špičkových technologií elektrických a telekomunikačních kabelů.

Za tyto léta nabrala dostatečné množství zkušeností, aby se stala hlavním výrobcem kabelů na celém světě. Skupina Prysmian Group postupně skupuje ostatní velké i malé podniky na výrobu kabelů a odvětví, k nim příbuzným po celém světě a v tuto dobu se tento koncern nachází na prvním místě, co se týče výroby kabelů. Předními komerčními značkami ve skupině jsou Prysmian, General Cable, Draka a EHC. Závod ve Velkém Meziříčí, kde bude probíhat měření, se nazývá Draka Kabely, s.r.o.



Obrázek 3: Výrobní závod Draka Velké Meziříčí [4]

Ve výrobním závodě v České republice (založen v r. 1994) společnost vyrábí PVC kabely pro pevnou instalaci, PVC kabely, autovodiče a speciální svazky. Díky instalaci nových výrobních linek zde dnes vyrábí také standardní i speciální ploché výtahové kabely.

## 2.1 Spotřebiče energie ve výrobním závodu

Každá spotřeba jakéhokoliv produktu je určena několika parametry. Záleží na každém, jak si tyto parametry nastaví a jak s nimi bude zacházet. Jeden z hlavních parametrů je pracovní čas spotřebiče. Spotřebič, který je neustále zapnutý spotřebovává energii. U výrobních linek záleží na době rozběhu linky. Linky na výrobu kabelů potřebují tzv. čas rozjezdu. Toto je čas, který každá linka potřebuje před samotnou výrobou kabelů. Rozběh je nutný ke správnému nastavení výrobních parametrů daného produktu. Hlavní zodpovědnost v čase rozběhu má operátor linky. Zkušenější operátor dokáže linku nastavit do provozního režimu dříve, než nezkušený. Čas a materiál ve fázi rozběhu se počítá jako ztráta a je dán jako technologický odpad.

Každý výrobní závod má několik částí, ve kterých je určitá spotřeba elektrické energie. Většinou se tyto části dělí na výrobní část a kancelářskou část. Výrobní část obsahuje linky pro tvorbu produktů dané firmy a jejich sortiment. Mohou se zde objevit i kompresory, svářečky a různé těžké stroje. Spotřeba elektrické energie ve skladě částečně spadá do výrobní části. Většinou se zde nacházejí výtahy a podavače materiálu z regálů. V kancelářské části se nacházejí počítače koncových uživatelů, tiskárny, telefony a věci infrastruktury. Zaměříme se především na stroje z výrobní části, jelikož spotřeba ostatních spotřebičů je v tomto případě minoritní. Spotřeba elektrické energie výrobní části je více než 4/5 celé spotřeby výrobního závodu Draka Kabely.

### 2.1.1 Výrobní část

Hala výrobního závodu ve Velkém Meziříčí je rozdělena na 3 hlavní části podle výrobní technologie (HS320, HS330, HS340). Název částí je převzat z historie. Každá část je zapojena do rozvoden. Informace o rozvodnách jsou napsány v kapitole 2.2. Stroje se liší svým odběrem podle typu a účelu. Některé linky, jako třeba hrubotah nebo jemnotah potřebují mnohem větší proud, než jiné linky (například na izolování), kde stroje pouze roztopí a nanášejí izolaci na kovové lanka. Na hrubotahu se měď v podobě polotovaru o průřezu  $8\text{mm}^2$  postupně žihá a natahuje, aby došlo k jejímu natažení a zmenšení průměru na  $0,35\text{mm}^2$ . Takže tyto linky jsou výkonově náročné než ostatní. Středotah a jemnotah upravuje průřez měděného lanka na hodnoty až  $0,04\text{mm}^2$ .

### 2.1.2 Výrobní hala HS320

Na hale HS320 jsou nejzajímavější linky na hrubotažení, obrázek č. 4. Tyto linky zpracovávají vstupní měděná lana o průměru 8 mm. Dokážou táhnout až dvě měděná lana současně. Měděné lano se protahuje přes diamantové průvlaky a tím je lano natahováno. Celkem prochází až přes 16 průvlaků. Výsledný produkt může mít průměr 1,36mm. Průměrná rychlost je přibližně 25 metrů za sekundu.



Obrázek 4: Linka hrubotažení

### 2.1.3 Výrobní hala HS330

Na HS330 jsou nejzajímavější linky na jemnotažení, obrázek č. 5. Celkem je zde 6 linek na jemnotažení. Tato linka natahuje polotovary z hrubotažení až na průměr 0,04 mm. Princip je zde stejný jako u hrubotažení.



Obrázek 5: Linka jemnotažení

Dále jsou zde linky na izolování a plášťování. Izolační linka nejprve roztopí extrudér, kde se rozpouští granulát a poté nanáší izolační materiál na měděná nebo oplášťovaná lanka.



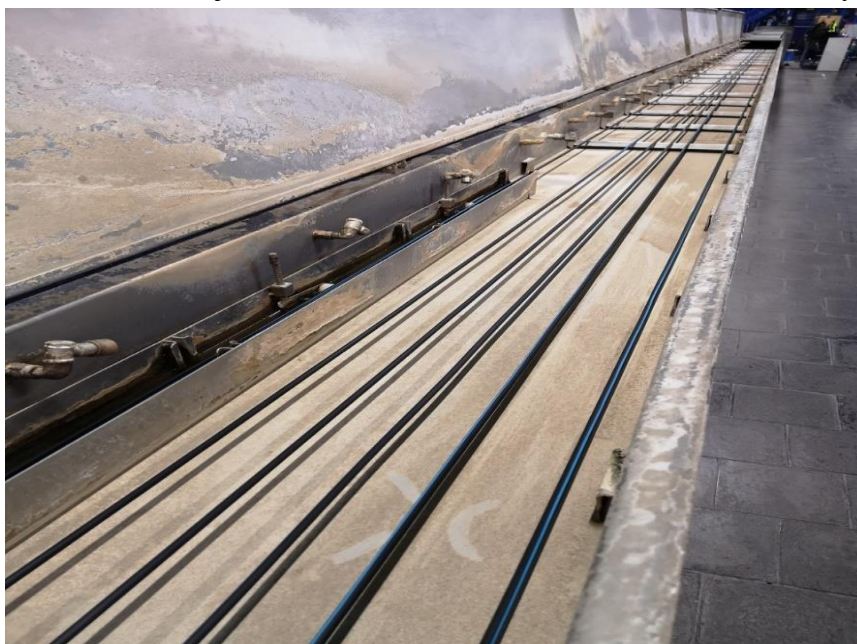
Obrázek 6: Proces nanášení klouzku a izolačního materiálu

Plášťování je principiálně stejné jako izolování. Rozdíl je v tom, že izolované vodiče jsou spleteny a následně pokryty klouzkem, který je potřebný pro snadnější odizolování při montáži. V extrudéru je opět rozpuštěn granulát výplňového a plášťovacího materiálu. Průchodem spletených vodičů skrz extrudér jsou tyto vrstvy nanесeny. Výsledný kabel se chladí ve vodní lázni a je ofukován stlačeným vzduchem.



Obrázek 7: Proces plášťování lanového zemního vodiče

Izolovaná lanka jsou chlazená ve vodní lázni a ofukována stlačeným vzduchem.



Obrázek 8: Proces chlazení oplášťovaných vodičů

## 2.1.4 Výrobní hala HS340

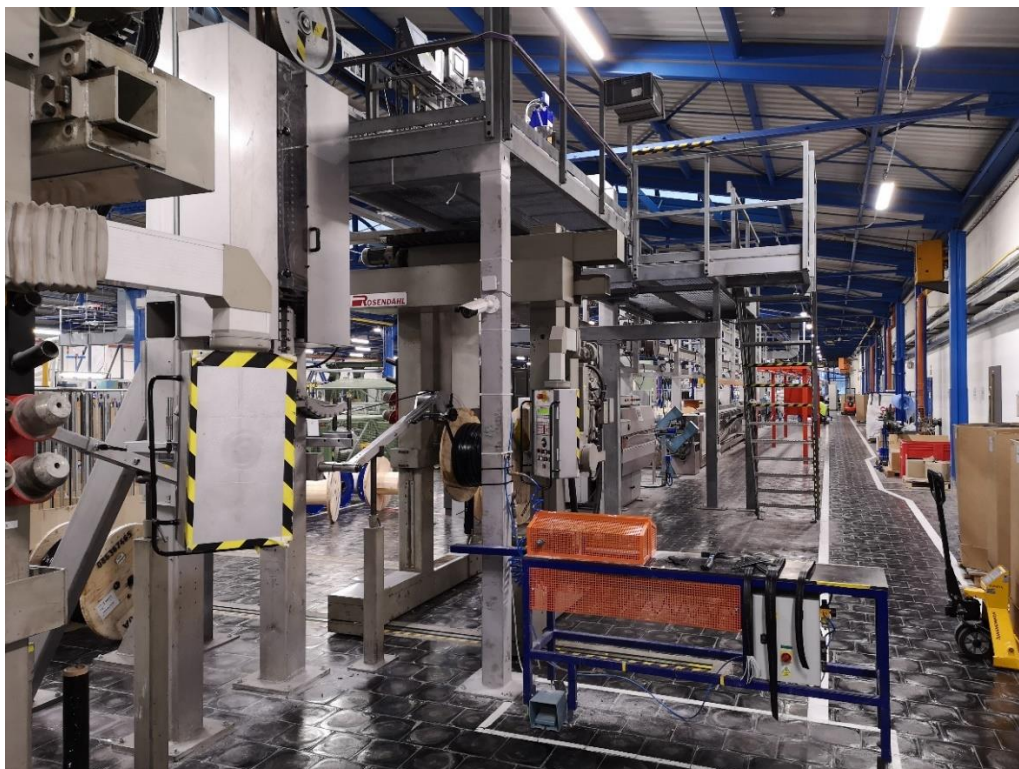
Tato hala je primárně zaměřena na přetáčení kabelů a stáčečí stroje. Přetáčečí stroje přetáčí vadné cívky, kde vznikla chyba. Chyba může být vysokonapěťová při porušení izolace a tím i zkratu s vodičem, chyba povrchu, svařené vodiče, chyba průměru. Tyto chyby jsou zaznamenávány ve výrobním protokolu, aby bylo možné je snadno najít a přetočit cívky na přetáčečích strojích za účelem vystříhnutí chybových úseků.

Stáčečí stroj (obrázek 9) stáčí více polotovarů do finálního kabelu před pláštěováním. V tomto případě jsou stáčeeny tři izolované žíly do kabelu CYKY 3x1,5.



Obrázek 9: Proces stáčeení třívodičeového kabelu

Jedna ze speciálních linek ve Velkém Meziříčí je linka na ploché výtahové kabely. Tyto kabely jsou velice náročné na výrobu a zkonstruování. Kabely musí vydržet extrémní podmínky ve výtahových šachtách, kde čelí opakovanému ohýbání. Dosažení pevnosti a nemožnosti ohybu ve své ose je docíleno kovovými lany.



Obrázek 10: Linka na výrobu plochých výtahových kabelů

### 2.1.5 Rozložení elektrické energie HS320, HS330, HS340

HS320 je největší a nejrozsáhlejší hala v počtu různých zařízení ve Velkém Meziříčí. Jsou zde hlavně stroje na natahování měděných lan a následné jejich obalování izolačním materiálem. Tím pádem tyto stroje potřebují velké množství energie. Tabulky obsahují štítkové hodnoty jednotlivých zařízení, které jsou používány. Jsou to obecné parametry při vhodných podmínkách. Orientační hodnoty činného odběru jednotlivých strojů za 24 hodin jsou uvedeny v tabulkách 1-3. Stroje obvykle neběží celý den, takže zde vzniká prostor pro optimalizaci spotřeby pomocí časového posuvu spouštění jednotlivých výrobních linek.

název zařízení	počet zařízení	proudový odběr I (A)	napětí U (V)	výkon P (kW)	činný odběr za den (kWh)	činný odběr za den (kWh) na daný počet zařízení
Hrubotah - pohon	2	27	400	18,71	448,95	897,90
Hrubotah - žihání	2	280	400	193,99	4655,75	9311,51
Středotah	1	350	400	242,49	5819,69	5819,69
Plášťové linky	3	180	400	124,71	2992,98	8978,95
Izolační linky	3	130	400	90,07	2161,60	6484,80
Balící linky	3	30	400	20,78	498,83	1496,49
Lanovací stroj	1	10	400	6,93	166,28	166,28
Přetáčecí zařízení	2	30	400	20,78	498,83	997,66
Kruhovací zařízení	1	33	400	22,86	548,71	548,71
Cívkovací zařízení	2	30	400	20,78	498,83	997,66
Světelné rozvaděč RE	2	60	400	41,57	997,66	1995,32
<b>Celkem</b>	<b>22</b>	<b>1160</b>		<b>803,67</b>	<b>19288,12</b>	<b>37694,97</b>

Tabulka 1: Rozložení elektrické energie na HS320

název zařízení	počet zařízení	proudový odběr I (A)	napětí U (V)	výkon P (kW)	činný odběr za den (kWh)	činný odběr za den (kWh) na daný počet zařízení
Tažící stroje typ J1 - J4	4	140	400	96,99	2327,88	9311,51
Tažící stroje typ J5 - J8	4	360	400	249,42	5985,97	23943,87
Lanovací stroje	40	19	400	13,16	315,93	12637,04
Izolační linky	5	60	400	41,57	997,66	4988,31
Přetáčecí stroje	4	6	400	4,16	99,77	399,06
Světelné rozvaděč RE	3	60	400	41,57	997,66	2992,98
<b>Celkem</b>	<b>60</b>	<b>645</b>		<b>446,87</b>	<b>10724,86</b>	<b>54272,77</b>

Tabulka 2: Rozložení elektrické energie na HS330

název zařízení	počet zařízení	proudový odběr I (A)	napětí U (V)	výkon P (kW)	činný odběr za den (kWh)	činný odběr za den (kWh) na daný počet zařízení
Izolační linky	3	45	400	31,18	748,25	2244,74
Plášťové linky	2	30	400	20,78	498,83	997,66
Stáčení žil	5	7	400	4,85	116,39	581,97
Cívkovací, přetáčecí stroje	10	11	400	7,62	182,90	1829,05
Světelné rozvaděč RE	1	60	400	41,57	997,66	997,66
<b>Celkem</b>	<b>21</b>	<b>153</b>		<b>106,00</b>	<b>2544,04</b>	<b>6651,08</b>

Tabulka 3: Rozdělení elektrické energie na HS340

středisko	činný odběr za den (MWh)	Podíl (%)
HS 320	37	37,90%
HS 330	54,00	55,40%
HS 340	6,6	6,70%
<b>celkem</b>	<b>97,6</b>	<b>100,00%</b>

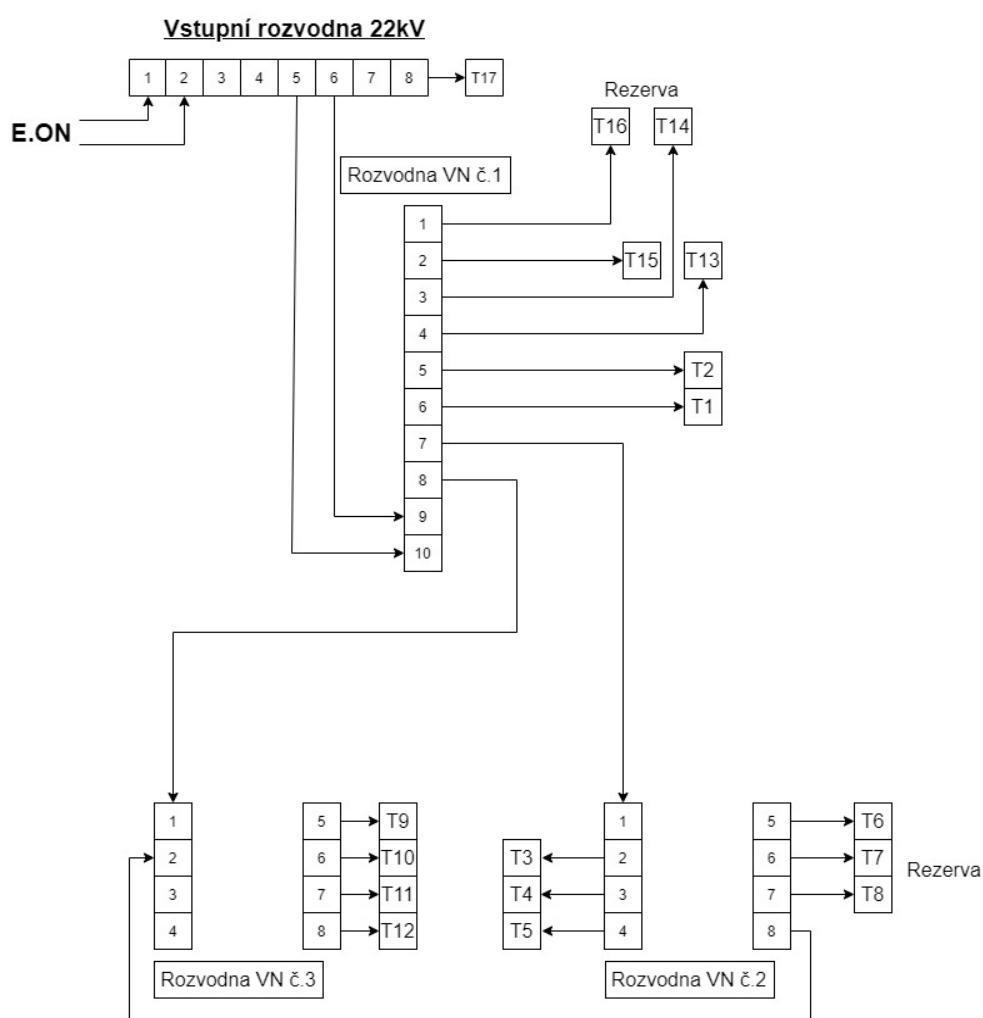
Tabulka 4: Celkové rozložení elektrické energie v horní budově Draka Kabely

## 2.2 Přívod elektrické energie do výrobního závodu

Jak již bylo řečeno, výrobní závody většinou používají vyšší hodnotu napětí, které je přiváděno od poskytovatele. U vyšších hodnot napětí dochází k menším ztrátám

energie na delší vzdálenosti. Spotřebitel si dále toto napětí zmenšuje dle spotřeby pomocí vlastních trafostanic a rozveden elektrické energie. Na obrázku č. 12 je znázorněné schéma rozveden z výrobního závodu ve Velkém Meziříčí. Poskytovatel, v tomto případě E.ON Energie a.s., přivádí napětí o hodnotě 22kV do vstupní rozvodny. Dále zde máme tři rozvodny VN, kde je napětí transformováno na 1kV. Finální rozvodny a rozvaděče disponují standartním napětí 230/400V. Většina linek je zapojena do jednotlivých trafostanic podle toho, v jaké části haly se nacházejí. Toto je znázorněno v kapitole 1.3, kde v tabulkách jsou rozepsány spotřebiče v daných částech haly.

Schéma rozveden



Obrázek 11: Topologická síť rozveden elektrické energie

Čísla 1-10 v buňkách jsou rozdělovače, na které jsou připojeny trafostanice T1-T16.

Celkově je zde 16 trafostanic NN. Transformátor T7, T8, T14 a T16 jsou rezervní k případu, kdyby docházelo ke zvětšování výrobních kapacit závodu.

Zbylé transformátory T1 až T15 jsou použity pro připojení výrobních linek, strojů, kompresorů, klimatizací, menších rozvaděčů, atd.. V tabulce č. 5 jsou vypsány konkrétní spotřebiče, které jsou zapojeny do jednotlivých trafostanic.

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Hrubotah Pohon – A1	Hrubotah žihání – A1	Rozvaděč RE 21
Chlazení	Žilová linka – B1	Rozvaděč vodárna
Rozvaděč RE 1	Rozvaděč RM 12	Mostový jeřáb ADAMEC
Rozvaděč RE 2	Zkušebna	Rozvaděč RM 32
Rozvaděč RE 3	Skaltek R2 – D5	Rozvaděč RM 24
Rozvaděč RE 4	Skaltek – D3	Hrubotah – A2
Rozvaděč RM 5	Plášťová linka – C1	Žilová linka – N
Rozvaděč RE 6	KAF 600 Kruhové zařízení – F3	
Rozvaděč RE 7	Rozvaděč RE 11	
Lanovací stroj G1	Hrubotah svářečka	

<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Rozvaděč RE 42	Rozvaděč RM 47	Rozvaděč RE 41
Žilová linka – B2	Jemnotah - J4	Jemnotah – J1
Žilová linka - F	Jemnotah – J8	Jemnotah – J2
Hrubotah žihání – A2	Klimatizace RM – 1 - 2	Jemnotah – J3
Plášťová linka – C3	Klimatizace RM	Přetáčecí linka - H
Balící linka – D2	Plášťová linka Kukama – C2	Přetáčecí linka - E
Dávkovací zařízení – H1	Žilová linka - R	Žilová linka - A
		Žilová linka - B
		Žilová linka - C
		Žilová linka - D
		Rozvaděč RM 44
		Rozvaděč RM 45

<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Žilová linka - I	Rozvaděč RM 32	Žilová linka – X
Žilová linka - J	Rozvaděč RE 51	Stáčení MALI – D5
Žilová linka - G	Rozvaděč RE 52	Žilová linka – T
Rozvaděč RM 48	Rozvaděč RE 61	Žilová linka – 3
Rozvaděč vestavba	Rozvaděč RE 71	Plášťová linka – U
Jemnotah – J5	Rozvaděč RE 72	Plášťová linka – V
	Rozvaděč RE 31	Plášťová linka – Z
	Kompresor	Rozvaděč RM 53
	Rozvaděč RM 46	Rozvaděč RM 54
	Rozvaděč RM 34	Rozvaděč RM 55
	Jemnotah – J6	
	Sypač Hütner	

<b>T12</b>	<b>T13</b>	<b>T15</b>
J7 – Jemnotah	Plášťová linka – C4	Rozvaděč RS 501
J9 – Jemnotah	Plášťová linka – C5	Rozvaděč RS 502
W – plášťová linka	Stáčecí stroj - D8	Rozvaděč RN 01
Parní box	Žilová linka – B3	Přetáčecí stroj Thaler
D11 – stáčecí stroj	Kompresorovna	Přetáčecí stroj Dixi
D7 – stáčecí stroj	Středotah – S1	Kompenzace
	Rozvaděč RM 25	

Tabulka 5: Spotřebiče připojeny do trafostanic NN

### 3. MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Měření je prováděno s hlavním cílem získání dat. Dat se porovnávají dva druhy, prvním jsou data odebírané elektrické energie, která slouží pro informace ohledně spotřeby spotřebitelem. Druhý druh je dodávaná energie. Poskytovatel má evidenci o energii, kterou dodal spotřebiteli. Tyto dva druhy pořízených dat se porovnávají a musí souhlasit. V případě nesouladu dat následuje zjišťování problému. Jedním z problémů může být i černý odběr. Černý odběr byl v minulosti hlavní problémem u menších domů a bytovek, kde se majitelé nebo i jiné osoby snažili obejít elektroměr. Ten pak neměřil korektní hodnoty a měřil jenom část energie, která ním prošla.

Měřicí bod je popsán jako fyzický bod sítě, kde se měří a registruje elektrická energie. Podle směru měřeného proudu rozlišujeme měřicí bod na dodávající (napájecí) bod a odběrný bod. Mohou být vytvářeny i tzv. virtuální měřicí body, ty používáme u měření rozdílu nebo součtu zjištěných dat.

Měřicí místo je takové místo, kde jsou k měřicímu bodu připojeny technické prostředky a měřicí přístroje. Vyskytují se především v odběrných místech elektrizačních soustav.

Měřicí zařízení je soubor měřících technologií, zařadit zde můžeme měřicí transformátory, elektroměry a registrační stanice. Do měřících zařízení spadají i spojovací prostředky a přístroje pro komunikaci.

K měření činné nebo jalové energie se používají elektroměry. Elektroměrem může procházet veškerá měřená energie, tento typ nazýváme přímé měření. Přímé měření je použito při měření elektrické energie u menších objektů, zejména u rodinných domů a bytů. Nevyužívá se zde použití měřících transformátorů. Druhý typ je nepřímé měření, které je použito při měření vysokých příkonů, protože zde je hodnota měřeného proudu a napětí příliš vysoká pro běžně používané elektroměry. Místo měřících elektroměrů jsou použity i měřicí transformátory. Principem těchto transformátorů je snížit hodnotu průchozích veličin, tak aby do měřícího elektroměru za transformátorem procházela pouze hodnota nepoškozující měřící elektroměr. Pro zjištění celkové hodnoty spotřebované energie se změřená hodnota opět musí vynásobit stejnou konstantou, jaká byla použita při dělení.

Druhy měřících zařízení

Typ A – průběžné měření elektřiny s dálkovým denním přenosem údajů

Typ B – průběžné měření elektřiny s dálkovým jiným než denním přenosem údajů

Typ S – průběžné měření elektřiny s dálkovým přenosem údajů

Typ C – ostatní měření elektřiny

Průběžným měřením je myšleno měření takové, kde zaznamenáváme střední hodnotu výkonu za měřený interval.

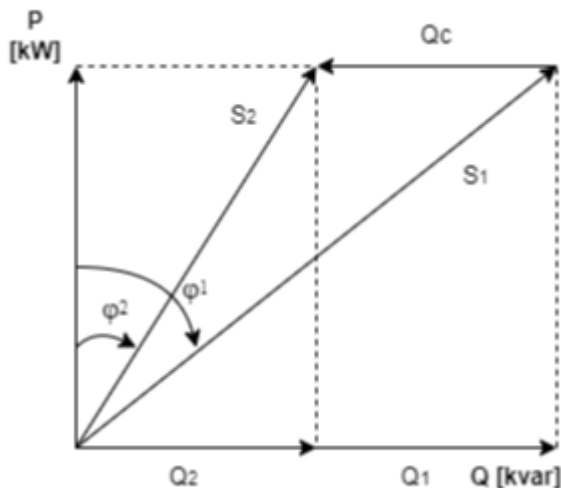
Tarifní funkce

Existuje PLDS (Provozovatel lokální distribuční soustavy) zajišťující tarifní funkce pro měřící zařízení. Měřící funkce sjednané mezi PLDS a LDS (uživatel) jsou smluvně dané. Tarifní funkce se liší podle měřeného typu. Typ C a S je zaměřený na měření pouze činné energie. Zatímco u tarifní funkce typu A a B je měřena jalová energie v odebírané i dodávané části, která je závislá na směru toku činné energie. Mohou být použity i speciální měřící systémy. Využívány jsou více tarifní měřící systémy, avšak toto záleží na smluvních podmínkách mezi uživatelem a PLDS. [6][7][8]

### 3.1.1 Jalová energie

Některá elektrická zařízení nespotebouvají pouze činnou energii, ale i jalovou část energie. Jsou to například elektrické motory, zářivky nebo svářečky. Tuto energii potřebují zařízení k jejich správné funkci. Hlavním problémem je zatěžování sítě při průchodu součinnou energií. Řešením je kompenzace jalové energie. Ke spotřebičům se připojuje správně navržený kondenzátor, který dodává jalovou složku přímo do zařízení. Tímto se dá snížit průchod jalové složky přes síť.

Kvalita kompenzace se určuje tzv. účinníkem  $\cos\varphi$ . Účinník udává poměr činného a zdánlivého výkonu. Ideální účinník má hodnotu  $\cos\varphi = 1$ . V legislativě české republiky se považuje za správný účinník o hodnotě 0,95 a víc. Jestliže je tento účinník u odběratele menší, odběratel dostává pokuty.



Obrázek 12: Fázový diagram jalového výkonu

- S1-zdánlivý výkon
- S2-zdánlivý výkon
- Qc-jalový výkon požadovaného kompenzačního kondenzátoru
- Q1-jalový výkon
- Q2-jalový výkon
- $\varphi$ -fázový posuv napětí a proudu
- $\cos\varphi_1$ -původní účinnost
- $\cos\varphi_2$ -výsledný účinnost

### Jalový výkon

Část výkonu, která obvodem koluje tam a zpět. V jedné části periody se elektrická energie mění na elektrostatické pole (kondenzátor) nebo magnetické pole (cívka). V druhé části tyto pole zanikají a stejná energie koluje zpět do zdroje ve formě proudu. Jedná se o neúčinnou práci.

$$Q = U * I * \sin\varphi \text{ [VAr]}$$

Rovnice 2: Jalový výkon

### Činný výkon

Je to část výkonu, která je ve spotřebiči měněna na teplo za jednotku času nebo užitečnou práci.

$$P = U * I * \cos\varphi \text{ [W]}$$

Rovnice 3: Činný výkon

## Zdánlivý výkon

Zdánlivý výkon představuje celkový výkon, který je nutné dodat spotřebiči ze zdroje. Neobsahuje ztráty, tedy není skutečný.

$$S = jQ \text{ nebo } U * I \text{ [VA]}$$

Rovnice 4: Zdánlivý výkon

## Účinnost

Vyjadřuje velikost části z celkového výkonu, kterou spotřebič dokáže přeměnit na činný výkon. Hodnota se pohybuje v rozmezí <0 - 1>, ideální je hodnota okolo 0,95.

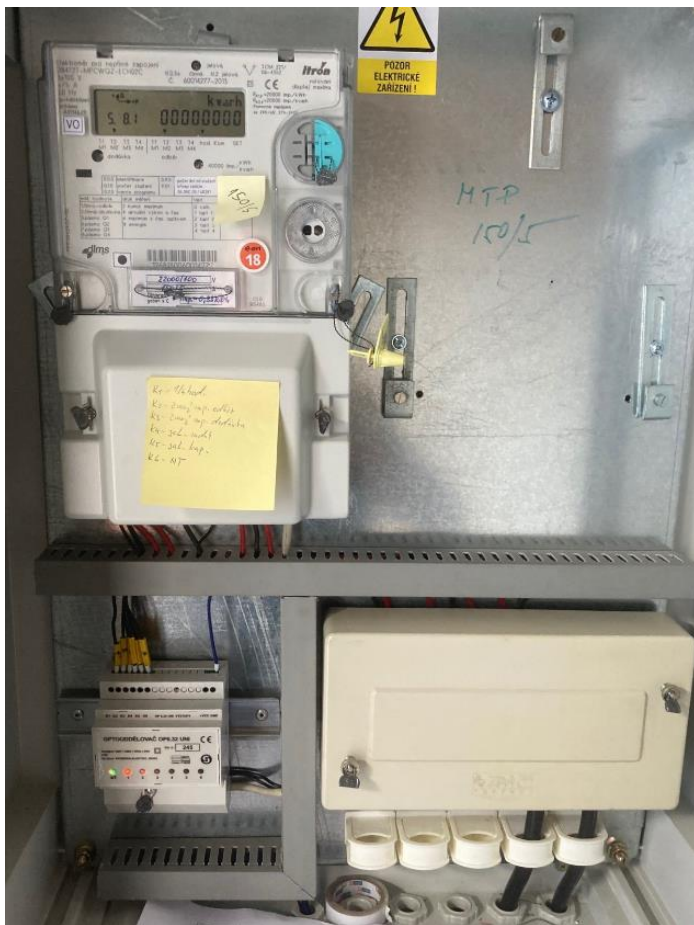
$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \text{ [-]}$$

Rovnice 5: Účinnost

[15][16][20]

## 3.2 Měření spotřeby spotřebičů ve výrobním závodě

Měření spotřeby je nedílnou součástí ke správnému fungování mezi spotřebitelem a poskytovatelem. Většinou poskytovatele zajímá pouze energie změřená na vstupu do objektu. V našem případě se zde používá elektroměr značky Itron pro nepřímá zapojení spotřebované energie, který osadil dodavatel E-ON. Elektroměr je namontován ve vstupní rozvodně VN 22kV. Jako každý elektroměr je opatřen a zabezpečen ochrannými plombami, aby nemohlo dojít k jeho manipulaci. Hlavní měřicí prvek ve výrobním závodě Draka Kabely je na obrázku 13.



Obrázek 13: Hlavní elektroměr

Dalším místem, kde můžeme měřit spotřebu, jsou jednotlivé rozvodny. V našem výrobním závodu jsou tři velké rozvodny a jedna hlavní vstupní rozvodna, do které je zapojena přípojka od poskytovatele E.ON. Všechny tyto rozvodny jsou VN 22kV. Schéma rozveden je popsáno v kapitole 2.2.

Nejdůležitějším místem, kde se dá měřit spotřeba energie, jsou rozvodny NN (230/400V). Ve výrobním závodu se nachází 16 rozveden. Z toho 4 jsou rezervní a do zbylých rozveden jsou připojeny jednotlivé stroje ve výrobě. Měření těchto rozveden bylo do nedávna pouze pomocí měřicích přístrojů odečítaných obsluhou. Naměřené hodnoty se zapisovaly do souborů a následně se zpracovávaly. V současnosti je nainstalován v každé rozvodně měřicí přístroj. Těmito přístroji se zabývá praktická část této práce.

Posledním místem, kde můžeme měřit spotřebu, jsou jednotlivé stroje. Při měření jednotlivých strojů, musí být stroje uvedeny do pracovních podmínek. Je možné měření od rozběhu, až po konec výrobního procesu na dané lince. Při této metodě se projeví větší nárůst výkonu při rozběhu a takřka lineální odběr energie při pracovních podmínkách, kdy je kabel vyráběn. Tyto hodnoty můžeme zprůměrovat a získáme průměrnou hodnotu energie pro práci linky. Druhý způsob je měření pouze při pracovních podmínkách bez rozběhové části. Jelikož rozběhová část trvá přibližně jen pár minut a výrobní proces má několikanásobný časový interval, ve výsledku dojdeme k podobným hodnotám, jako byly u měření včetně rozběhové části.

### 3.3 Typy použitelných elektroměrů

Pro optimalizaci spotřeby elektrické energie je nutné provádět kontinuální měření odběru jednotlivých technologických celků.

Existuje spousta různých měřících elektroměrů. V našem případě byl potřeba třífázový elektroměr s možností připojení ethernetového kabelu pro připojení elektroměru do sítě.

Vybírali jsme z těchto značek a typů:

- DCRL8 (Lovata),
- Novar 2400 (KMB Systems)
- QERP16 (Závodný elektro).

Většina těchto prvků má velmi srovnatelné parametry. Z důvodu předchozí dobré zkušenosti a dlouhodobé spolupráce byl zvolen elektroměr Novar 2400 R18E od firmy KMB Systems. Konkrétní dokumentace je možné vyhledat na stránkách Novar 2400 (kmb.cz). Tento elektroměr má 18 regulačních vstupů a datový výstup MODBUS TCP.



Obrázek 14: Elektroměr Novar 2400

Hlavní vlastnosti elektroměru:

- montáž do panelu, rozměr 144x144 mm
- až 18 výstupů **Reléových** nebo **Tranzistorových**
- měří a reguluje ve všech fázích
- vhodný pro NN i VN aplikace s použitím PTN
- podporuje připojení libovolných kombinací jedno, dvou a třífázových kondenzátorů i tlumivek
- vhodný pro kompenzaci i dekompenzaci (dekompenzační tlumivky)
- měří a vyhodnocuje harmonické zkreslení THD a harmonické do 50 řádu
- možnost vyhrazené výstupu pro alarm nebo řízení ventilace/topení
- servisní USB port v základní výbavě
- RS-485 a Ethernet jako volitelná rozšíření
- čtyřkvadrantní činný a jalový elektroměr

Popis struktury protokolu MODBUS je uveden v příloze.

Struktura nejdůležitějších registrů používaných elektroměrem Novar 2400 R18E je uvedena v tabulce č. 6 [14]

Namapovaný blok registrů	Bázová adresa		Typ
	DEC	HEX	
Autentizace	0	0x0000	uchovávací registry
Obvod reálného času (RTC)	256	0x0100	vstupní/uchovávací
Identifikace	512	0x0200	vstupní registry
Blok ovládání archivů	768	0x0300	vstupní/uchovávací
Blok ovládání čítačů	1536	0x0600	vstupní/uchovávací
Konfigurovatelná nastavení	1792	0x0700	uchovávací registry
Nastavení pouze pro čtení	2048	0x0800	vstupní registry
Aktuální data	4096	0x1000	vstupní registry
Elektroměr	8192	0x2000	vstupní registry
Agregované hodnoty	16384	0x4000	vstupní registry
Monitorování reziduálního proudu	19712	0x4D00	vstupní registry
Maximální odběr	19968	0x4E00	vstupní registry
Indexy kvality elektrické energie	20480	0x5000	vstupní registry
Hromadné dálkové ovládání	21248	0x5300	vstupní registry
Modbus koncentrátor	24576	0x6000	vstupní registry
Aktuální data - DC a AC/DC	25088	0x6200	vstupní registry
Vstupy a výstupy	36864	0x9000	vstupní registry
Aktuální data - Regulace účinníku	40960	0xA000	vstupní registry

Tabulka 6: Tabulka registrů pro elektroměr Novar 2400 [14]

### 3.4 Principy regulace spotřeby ve výrobním závodě

V poslední době, konkrétně v roce 2021, kdy cena elektřiny na trhu vzrostla za poslední dobu nejvíce, je potřeba s rozumem zvážit, kdy a kde je daná energie potřeba šetřit. Důležitým aspektem, a tedy i cílem každého výrobního závodu nebo i malého rodinného domku je ušetřit peníze na spotřebě energií. Existují dva způsoby, jak ušetřit energii, aniž bychom jakkoliv museli omezovat výrobní kapacitu výrobního závodu. Jak již bylo řečeno, náš výrobní závod funguje na tarifu „čtvrthodinové maximum“. To znamená, že v dané čtvrt hodině nesmíme přesáhnout smluvené maximum od poskytovatele. Aby nedocházelo vlivem zapínání strojů a linek ke špičkám odebírané energie, musíme tuto problematiku ošetřit. Prvním a zároveň v našem případě lepším řešením je omezení špiček odběru energie manuálními kroky. Tyto kroky budou naplánovány plánovači, kteří mají informace o spouštění linek, tak aby nedošlo k rozběhu více linek ve stejné čtvrt hodině, a tím k překročení smluvené kapacity. V případě velké spotřeby by byl rozběh jedné linky opožděn na další čtvrt hodinu.

Druhým řešením je řízení regulace pomocí systémových prostředků. V praxi to znamená vybavit každou rozvodnu řídicím systémem a v případě potřeby zhodnotit, které zařízení vypnout a následně ho odpojit od elektrické energie. Řídicí systém by měl informace vyčtené z osazených čidel, které měří elektrickou spotřebu na jednotlivých rozvodnách. Jelikož by hodnota realizace byla příliš vysoká, tato práce se bude zabývat pouze prvním ze zmíněných typů regulace. Druhým důvodem je krátká doba ke sběru dat osazených čidel. Čidla sbírají hodnoty krátký časový horizont, v tomto případě necelý půl rok. [10][11]

### **3.4.1 Regulovatelné spotřebiče**

Každý spotřebič se nedá v průběhu jeho využití vypínat a zapínat podle libosti. U strojů, kde je využití tohoto u spotřebiče kritické, se nedají v čase výroby spotřebiče vypnout, protože by došlo k výpadku výroby. V tomto případě by mohlo dojít k poškození produktu, který se na dané lince vyrábí nebo výrobě nekvalitního produktu.

Spotřebičů, které se dají vypnout, aniž by omezily výrobu, je málo. Mohou to být například nabíječky na vysokozdvizné vozíky, vzduchotechnika, kompresory atd. Jedno z mála zařízení, které se dá v průběhu výroby produktu vypnout je nahřívání extrudéru. Extrudér rozehřívá gumový granulát na začátku rozběhu linky pro izolaci a plášťování kabelů. Tato činnost mu může trvat až 45 minut.

## 4. NÁVRH ŘEŠENÍ

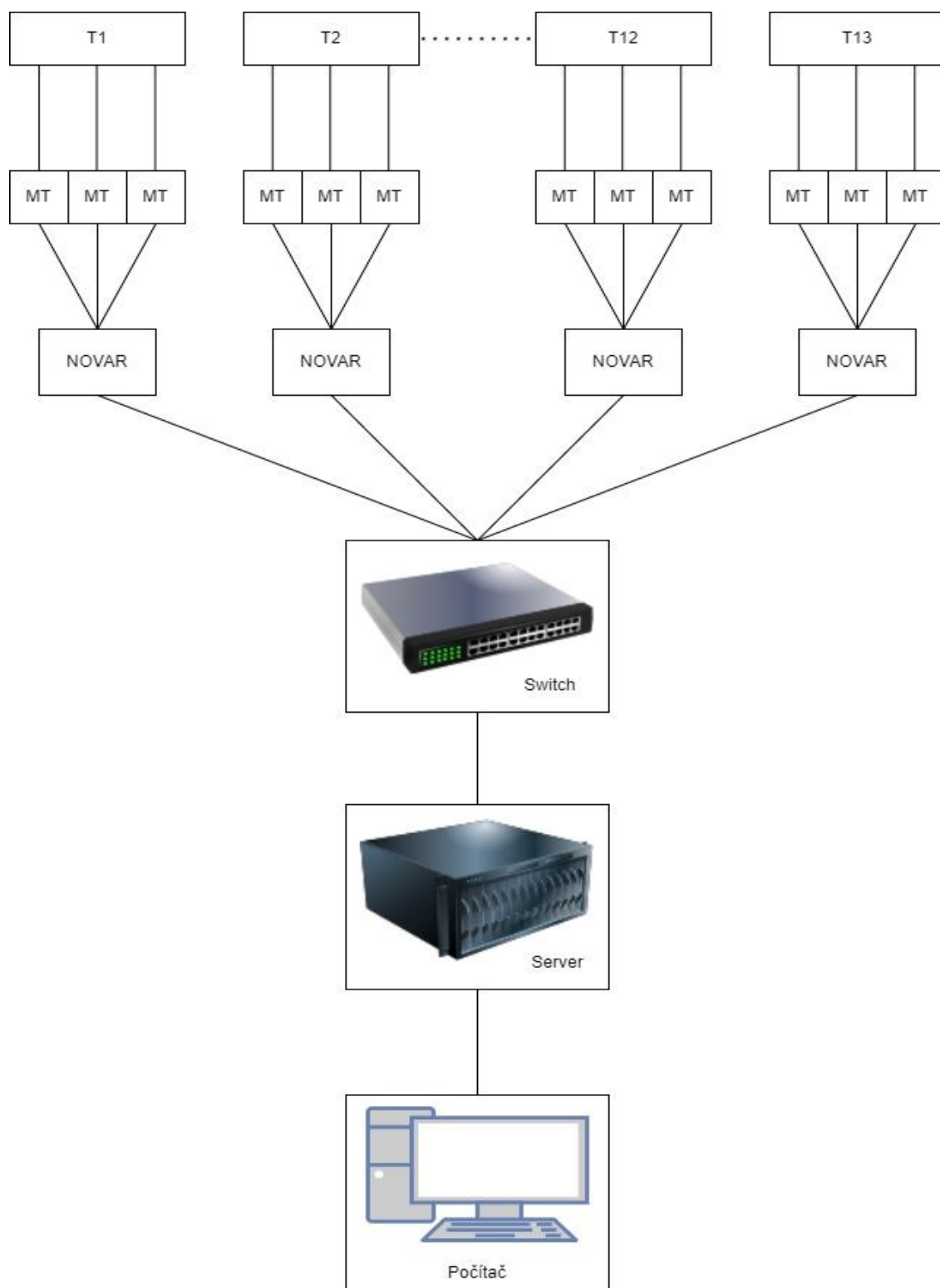
Základem optimalizace je důkladná znalost struktury spotřeby elektrické energie a její rozložení v čase. Pro získání potřebných dat budeme provádět kontinuální měření spotřeby na vybraných transformátorech v rozvodnách NN. Po získání dat za dostatečně dlouhé období, abychom pokud možno pokryli i sezónní kolísání spotřeby během kalendářního roku, vytipujeme spotřebiče, které je možné v případě hrozícího překročení odběrového maxima vypnout, případně provozy, které je možné v čase posunout do méně exponované denní doby z pohledu odběru elektrické energie.

Na začátku zhotovení bylo třeba vybrat čidla, která se použijí v rozvodnách NN, výběr přepínače, topologii zapojení a kabeláž. Dalším krokem bylo prověřit a zmapovat, ve kterých rozvodnách NN má smysl implementovat elektroměry. Všechny 16 rozvodny ve výrobním závodě není použito, některé slouží pouze jako rezerva.

Následuje zvolení optimálního místa pro rozvaděč se serverem a přepínačem. Po zapojení elektroměrů je třeba jim přiřadit IP adresu ze zvoleného adresního rozsahu. IP adresa elektroměru definuje cíl, na který server zasílá dotazy a následně z této IP adresy server dostává odpovědi. Z obdržených dat server sestaví grafy, které dají uživateli jasný náhled ohledně spotřeby energie ve výrobním závodě.

Z obdržených dat za časový interval, který může být až jeden rok, můžeme dále určit období, kdy spotřeba energie narůstá a jaké jsou její možnosti regulace a snížení.

Na obrázku č. 19 je znázorněné blokové schéma zapojení čidel na měření elektrické spotřeby na jednotlivých fázích transformátorů. Označení T1 – T13 jsou transformátory v rozvodnách NN. Každý transformátor má tři fáze a na každé fázi je měřicí transformátor MT, který měří elektrickou spotřebu. Následně jsou tyto hodnoty posílány na čidlo Novar. Všechny Novary jsou zapojeny do datové sítě pomocí přepínače. Čidlo Novar dokáže komunikovat pomocí komunikačního protokolu MODBUS. Přepínač je propojen se serverem, který data zprostředkovaná z čidel vyhodnocuje. Uživatel si poté pomocí speciálního softwaru zobrazí data na počítači.



Obrázek 15: Blokvé schéma řešení

## 5. PRAKTICKÁ IMPLEMENTACE

### 5.1 Topologie podnikové sítě

Schéma topologie datové sítě závodu je na obrázku č. 16. Při vstupu do firemní sítě z internetu jsou použity dvě brány, firewally a dva přepínače z důvodu redundance. V případě výpadku jedné z těchto cest převezme funkčnost druhá cesta. Dále následuje propojení s hlavním core přepínačem, z kterého jsou připojeny jednotlivá přepínače v rozvodnách po celém výrobním závodu. Pro adresaci je našemu závodu v rámci koncernu přidělen adresní rozsah 10.101.240.0/22. V tabulce č. 7 je rozepsáno jaký rozsah se používá pro počítačové stanice a pro ostatní zařízení.

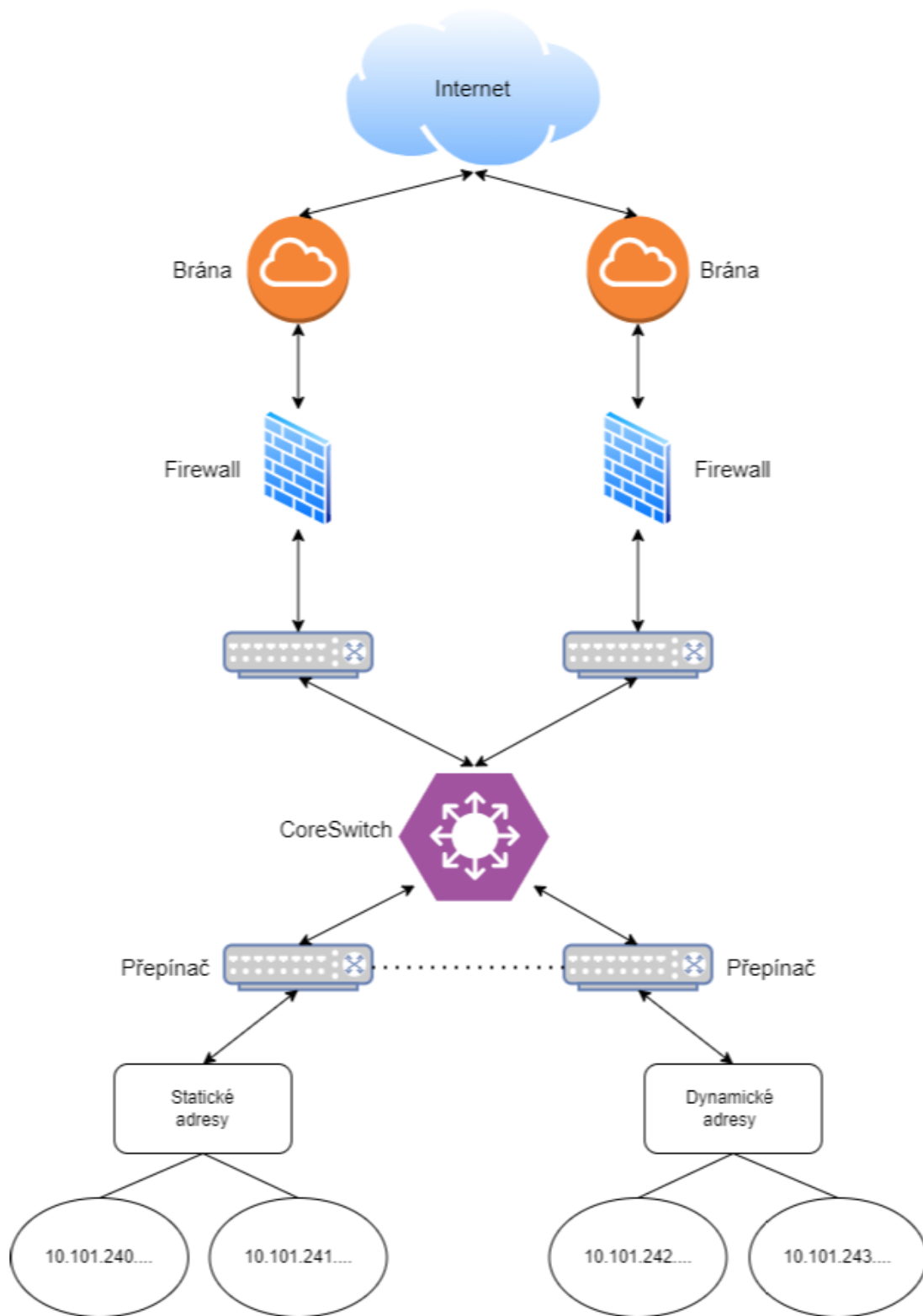
Adresní rozsah	Statické/DHCP	Příklad zařízení
10.101.240....	statické adresy	kamery, čidla, zámky
10.101.241....		
10.101.242....	dynamické adresy	pc stanice
10.101.243....		

Tabulka 7: Rozsahy adres místní podnikové sítě

Firemní síťová politika je nastavena tak, že žádné zařízení, které nemá umožněn přístup, nemůže komunikovat ven ani dovnitř z podnikové sítě. Komunikovat může pouze v případě, kdy má platné certifikáty a je korektně zadán v Prysmian doméně. Každému uživateli jsou přidělena práva, k čemu může a nemůže přistupovat.

Zařízení, u kterých je nezbytná komunikace s okolním světem je nastavena statická IP adresa a komunikují pouze přes určitý port např. servery.

Koncová zařízení bez operačního systému, jako jsou čidla Novar, mohou komunikovat v síti s ostatními zařízeními, ale jejich komunikace ven z podnikové sítě do internetu je zablokována, protože nemají a nemohou mít účet v doméně. Komunikace s rámci sítě není nijak omezena.



Obrázek 16: Schéma topologie výrobního závodu

## 5.2 Použité přístroje a zapojení

### 5.2.1 Novar

Jak již bylo zmíněno, byla použita čidla Novar 2400 R18E. Kde R18 značí až 18 regulačních vstupů a písmeno E značí zabudované ethernet rozhraní pro připojení do datové sítě. Tyto čidla dokáží pracovat s protokoly Modbus-RTU, ev. Modbus-TCP. V našem případě používají protokol typu Modbus-TCP. Díky protokolu MODBUS je možné pro sběr dat z měřících čidel použít řadu různých softwarových nástrojů. Softwarový modul AXIOM od dodavatele čidel byl k těmto účelům nejsnadněji implementovatelný.

Jednotlivé měřené hodnoty jsou předávány ve standardních registrech protokolu MODBUS. Přehled adresace registrů je uveden v příloze.

### 5.2.2 Přepínač

Protokol MODBUS-TCP pracuje nad standardním protokolem TCP/IP a nemá žádné speciální nároky na linkovou vrstvu sítě. Jako přepínač byl proto použit obyčejný víceportový přepínač značky Cisco. Do tohoto přepínače jsou přivedeny všechny čidla Novar. Přepínač není speciálně konfigurován. Jedná se o přepínač značky Cisco Catalyst 2960-X Series, kterých ve výrobním závodu máme několik. Jelikož je naše společnost v korporátní síti, tak jsou vybrány typy a značky hardwaru, které se používají v celé síti korporátu. Důvodem je snadnější správa a domluvené výhodné nabídky s dodavateli.

V době, kdy je psána tato práce máme zapojených celkem 11 čidel Novar. V tomto přepínači jsou zapojeny do portů 3-13. Ze zvyklostí jsou porty 47 a 48 používány jako port Trunk ke spojení s podnikovou sítí. V tomto případě je zapojený port 48. Port 46 je použit jako spojení se serverem Flowbox k čidlům.



Obrázek 17: Zapojení přepínače v rozvaděči

### 5.2.3 Ústředna

Ústředna je tvořena kompaktním hardwarem od značky FlowBox s parametry 128GB SSD, procesorem Intel Pentium J5005 a pamětí RAM 4GB, DDR4-2400. Na ústředně běží server na adrese 10.101.241.61 v prostředí Debian. Jako systém byl použit proprietární systém, který je předinstalovaný a nakonfigurovaný od dodavatele čidel Novar. Instalace systému je know-how dodavatele čidel.

Umístění ústředny je přibližně ve středu výrobního závodu. Důvodem byly délky tras k čidlům a vhodné místo rozvaděče.



Obrázek 18: Zapojení serveru v rozvaděči

## 5.2.4 Zobrazení měřených dat

Měřená data jsou k dispozici na webovém rozhraní systému AXIOM na adrese 10.101.241.61. Poté je nutné zadání přístupových údajů. Při správném ověření můžeme vidět samotné prostředí serveru a hodnoty, které zpracováváme z čidel umístěných v rozvodnách viz. obrázek č. 19

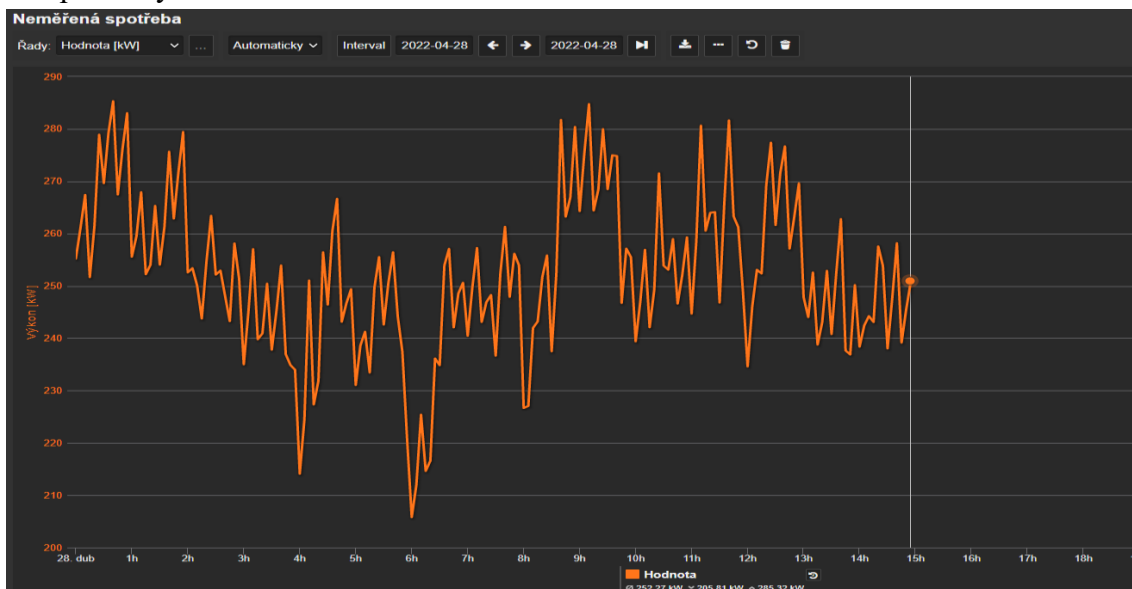


Obrázek 19: Internetové prostředí měřicího systému

Hlavní obrazovka je rozdělena do několika částí. Tyto části si může každý uživatel, který má přístup na rozhraní přizpůsobit podle toho, jaké hodnoty potřebuje vidět. Mezi naše hlavní ukazatele hodnot patří celková spotřeba na jednotlivých rozvodnách (kulaté ukazatele), neměřená spotřeba, fakturační elektroměr, rozložení energie podle rozveden, ¼ hod maximum, součet spotřeb rozveden.

### 5.2.4.1 Neměřená spotřeba

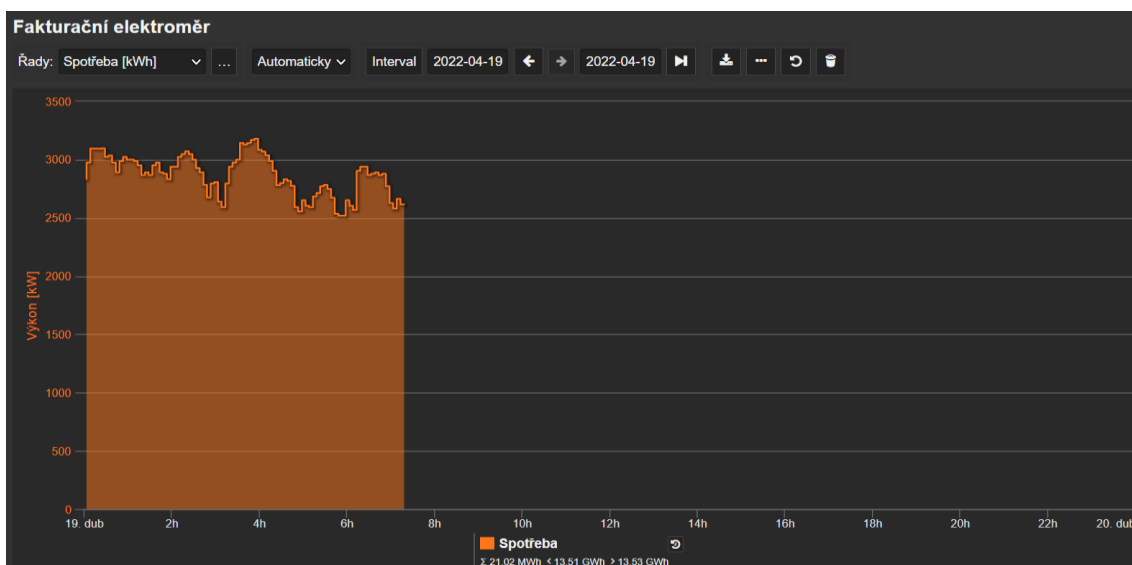
Tento graf zobrazuje hodnotu v kW, která není měřena a jde mimo implementovaná čidla. Hodnota se dopočítává do celkové spotřeby, která je měřena na vstupu do výrobního závodu.



Obrázek 20: Graf neměřené spotřeby

### 5.2.4.2 Fakturační elektroměr

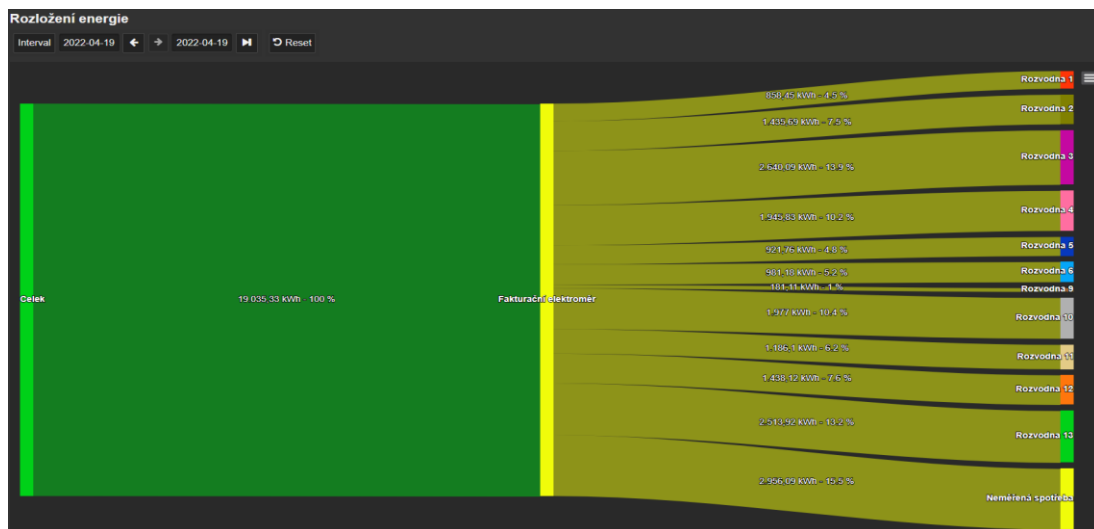
V grafu jsou zobrazeny data z fakturačního elektroměru. Je to elektroměr do vstupu do výrobního závodu a měří celkovou spotřebovanou energii v závodu. Graficky se jedná o závislost výkonu v kW na čase.



Obrázek 21: Graf fakturačního elektroměru

### 5.2.4.3 Rozložení energie

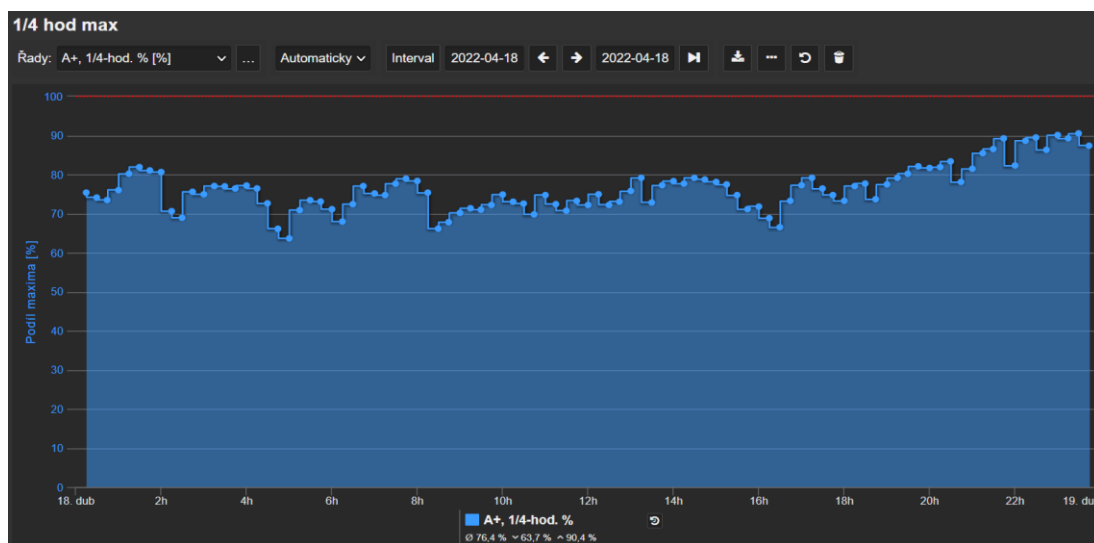
Do grafu jsou zaznamenány celkové hodnoty spotřeby a následně je graficky rozdělena spotřeba do všech rozvodů a do „neměřené spotřeby“.



Obrázek 22: Schéma rozložení energie do jednotlivých rozvodů

### 5.2.4.4 ¼ hod maximum

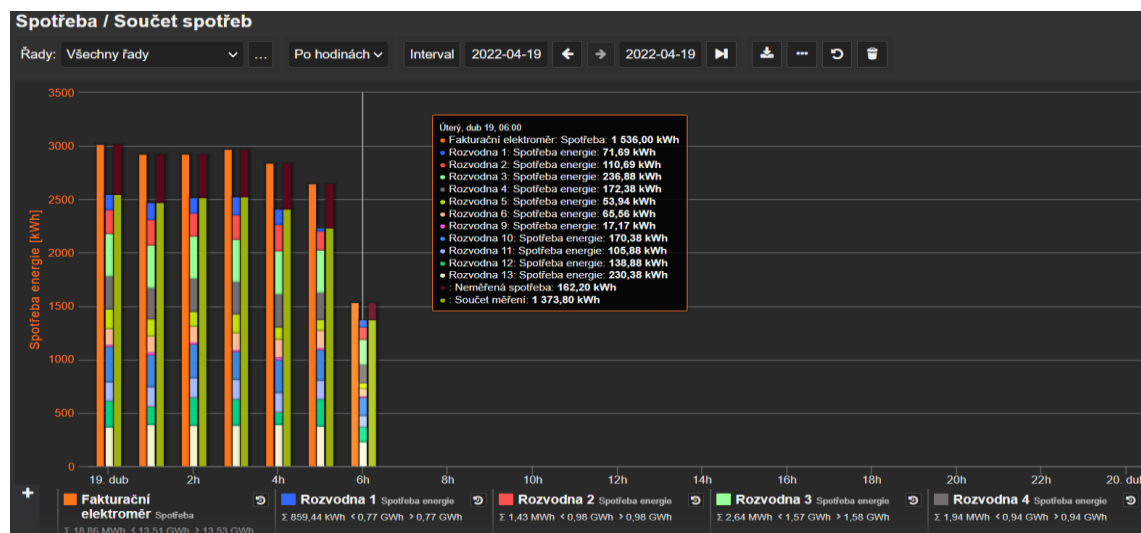
Tento graf znázorňuje využití čtvrt hodinového maxima v procentech a dává určitou představu, jak můžeme postupovat v následující regulaci spotřeby. Graf je aktualizován každých 15 minut.



Obrázek 23: Graf procentuálního využití 1/4hodinového maxima

### 5.2.4.5 Součet spotřeb rozvoden

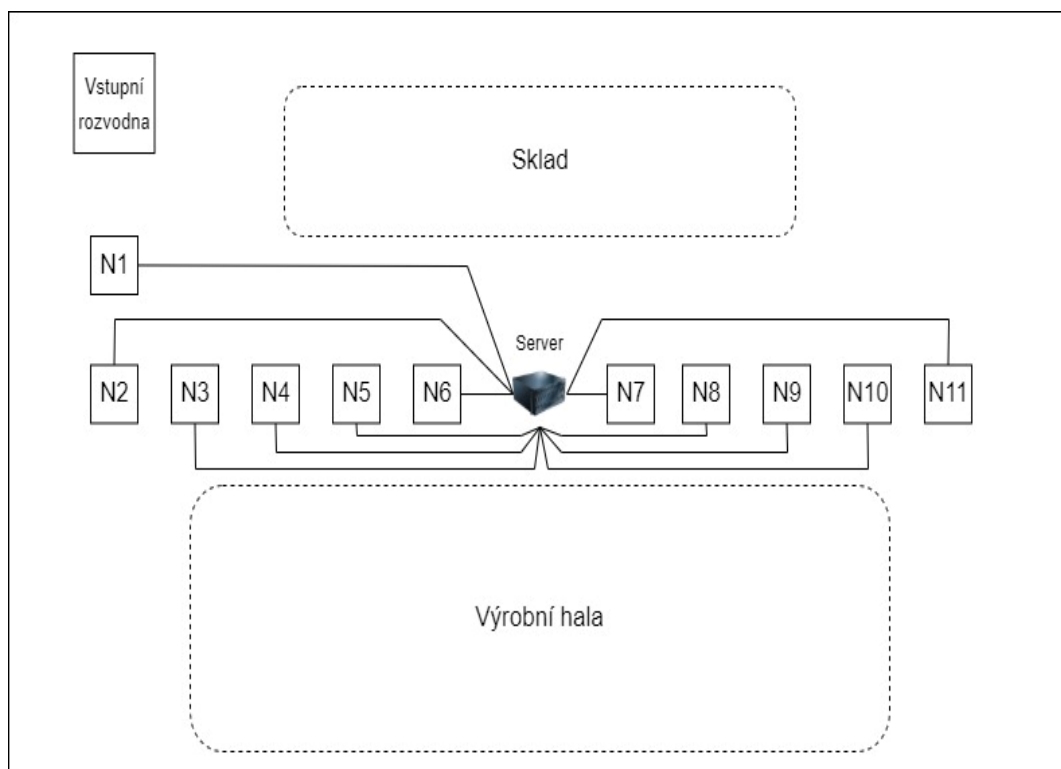
Graf je principiálně stejný jako graf „Rozložení energie“. Tady navíc máme celkovou spotřebu v kWh za hodinový interval ve sloupcovém provedení. Každá rozvodna je jinak barevně znázorněna.



Obrázek 24: Graf součtu spotřeby rozvoden

### 5.2.5 Architektura zapojených přístrojů

Na obrázku č.25 je znázorněna architektura zapojení. Všechny Novary jsou zapojeny do hlavního serveru, který je přibližně v polovině výrobního závodu. Umístění rozvaděče se serverem je z důvodu délky tras. Délka nejdelších tras je přibližně 40 metrů. Kdy na velkých vzdálenostech při použití ethernetového kabelu je možné vypadávání spojení. Norma pro délku kabelů říká maximální trasu 100 metrů. V našem případě by k výpadkům spojení z tohoto důvodu nemělo docházet. Ale dle zkušeností je lepší provozovat menší délky tras, když je to prakticky možné. Ve výrobním závodě je velké množství ostatních kabelů, které nejsou stíněny, je možné rušení z jejich strany.

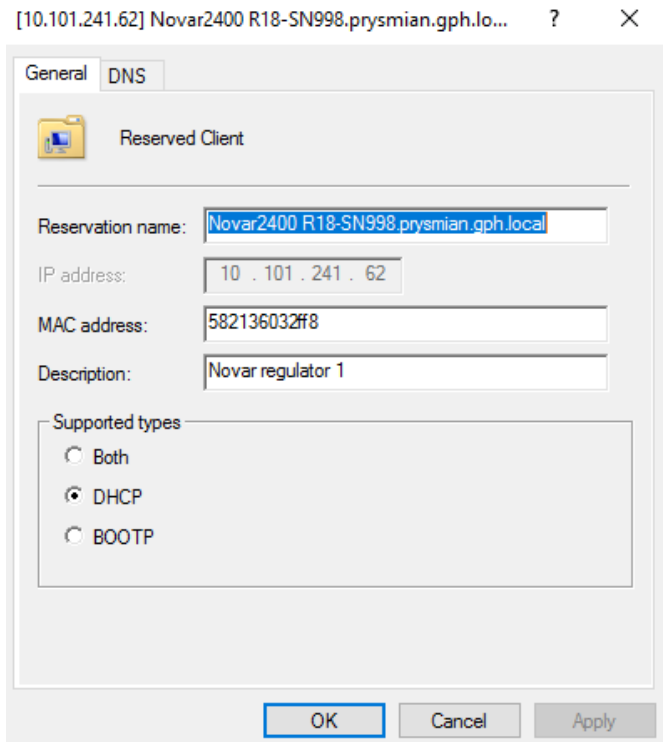


Obrázek 25: Architektura zapojených přístrojů

## 5.3 Konfigurace

### 5.3.1 Konfigurace čidla Novar

Klíčovým parametrem konfigurace čidel Novar je jejich IP adresa. IP adresa daného čidla by měla být neměnná v čase z důvodu snadnější konfigurace software pro sběr dat, kde IP adresu můžeme použít jako identifikátor daného čidla. V rámci koncernu je však nutné s důvodu interní politiky používat pro přidělování IP adres DHCP server. Řešením je konfigurace DHCP serveru, kde každé čidlo Novar má svoji IP adresu rezervovanou na základě své MAC adresy. Tímto docílíme neměnnost IP adresy v čase. Například při dlouhém výpadku jakéhokoliv čidla nedojde po jeho znovu zapnutí k přiřazení jiné IP adresy, než je staticky nastavena.



Obrázek 26: Rezervace IP adresy na DHCP serveru

V tabulce číslo 8 můžeme vidět konkrétní nastavené IP adresy na jednotlivých čidlech. Čidla jsou nakonfigurovaná v rozsahu 10.101.241.... Jak již bylo zmíněno, tento rozsah je určený pro zařízení ve výrobním závodě, které mají statickou IP adresu.

Objekt	MAC adresa	IP adresa
Novar 1	58-21-36-03-2f-f8	10.101.241.62
Novar 2	58-21-36-03-2f-f6	10.101.241.63
Novar 3	58-21-36-03-2f-fd	10.101.241.64
Novar 4	58-21-36-03-2f-fc	10.101.241.65
Novar 5	58-21-36-03-2f-f4	10.101.241.66
Novar 6	58-21-36-03-2f-f9	10.101.241.67
Novar 7	58-21-36-03-2f-f5	10.101.241.68
Novar 8	58-21-36-03-2f-fb	10.101.241.69
Novar 9	58-21-36-03-2f-ff	10.101.241.70
Novar 10	58-21-36-03-2f-fa	10.101.241.71
Novar 11	58-21-36-03-2f-f7	10.101.241.72

Tabulka 8: Přiřazení IP adresy čidlům Novar

## 5.4 Princip komunikace čidel a ústředny

Na počátku implementace čidel Novar je zapotřebí jim přiřadit IP adresu, pomocí které budou komunikovat. Čidla se nacházejí ve společné síti. Čidla komunikují se serverem pomocí protokolu Modbus TCP na portu 502, který je k těmto účelům doporučovaný. V daných intervalech server posílá dotaz na všechny čidla současně s parametry z modbusové mapy. Každý NOVAR pošle zpět odpověď serveru se svojí IP adresou, aby bylo jasné, od koho informace přišla. Server informace zpracuje a vytvoří přednastavené grafy podle naprogramovaného ovladače.

Objekt	Název	Sériové číslo	IP adresa
Novar 1	Rozvodna 13	998	10.101.241.62
Novar 2	Rozvodna 1	997	10.101.241.63
Novar 3	Rozvodna 6	992	10.101.241.64
Novar 4	Rozvodna 10	1001	10.101.241.65
Novar 5	Rozvodna 9	999	10.101.241.66
Novar 6	Rozvodna 4	995	10.101.241.67
Novar 7	Rozvodna 5	1002	10.101.241.68
Novar 8	Rozvodna 12	994	10.101.241.69
Novar 9	Rozvodna 11	1000	10.101.241.70
Novar 10	Rozvodna 2	996	10.101.241.71
Novar 11	Rozvodna 3	1003	10.101.241.72

Tabulka 9: Rozložení čidel Novar podle rozveden energie

## 5.5 Vytipování spotřebičů

Ve výrobním závodě můžeme ovlivňovat a vypínat přívod elektrické energie u dvou sektorů. Jedním je budova a druhým jsou výrobní technologie.

### 5.5.1 Budova

V tomto sektoru můžeme vypínat klimatizace, nabíječky na vysokozdvížné vozíky, osvětlení. U osvětlení máme na mysli pouze snižovat intenzitu.

V současnosti nelze vypínat kompresory na stlačený vzduch, jelikož k tomu nejsou přizpůsobené zásobníky. Absence stlačeného vzduchu by byla kritická pro velké množství linek a zařízení. Stlačený vzduch je přiveden prakticky na většinu výrobních linek, převíjecích strojů, kompenzátorů, vysoušení kabelů, rozklad navíjení kabelů.

### 5.5.2 Technologie

V odvětví technologie můžeme vypínat pouze stroje, kde nemůže nastat fatální dopad výpadku energie. Mezi tyto stroje můžeme zahrnout především lanovací stroje. Vypínání lanovacích nebo převíjecích strojů musí být pozvolné, aby nedošlo k roztrhání vyráběných kabelů.

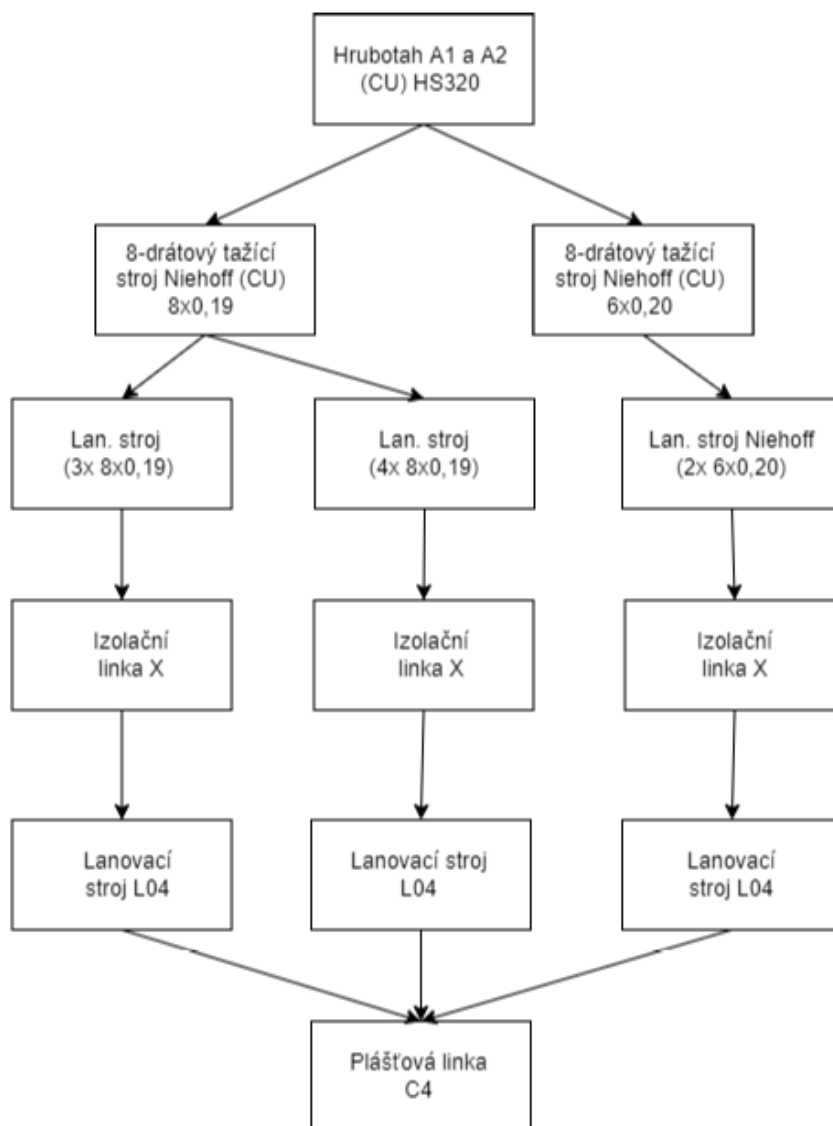
### 5.5.3 Příklad výroby jednoho typu kabelu

Ideálním příkladem, jak si ukázat přibližnou spotřebu elektrické energie je popsáním celého výrobního procesu určitého typu kabelu. Ve výrobním závodě se vyrábí různé typy kabelů, např. CYKY, kroucené dvoulinky, autovodičové kabely, výtahové kabely. Z hlediska ceny, výrobního času a spotřebované energie jsou nejnáročnější výtahové kabely.

V další odstavci bude rozepsán proces výroby výtahového kabelu D05VEC4VH6-F 13G1 postupně od počátku až po jeho finální část. Ke každému procesu bude zaznamenána výrobní doba a spotřebovaná energie v tabulce č. 10

<b>Stroj</b>	<b>čas[h]/km</b>	<b>Spotřeba za 1 hodinu [kWh]</b>	<b>Celková spotřeba [kWh]</b>
Hrubotah A1 and A2 ( CU) HS320	0,105	212	22,26
8-drátový tažící stroj Niehoff (CU)	2,24	249	557,76
Lan. stroj dvojkřutový Niehoff HS330	2,628	13,16	34,58
Lan. stroj L01,L03,L05,L06 HS330	2,215	13,16	29,15
Lanovací stroj L42,L43-HS330(twist)	3,368	13,16	44,32
Izolacní linka X -HS 340	2,605	31,18	81,22
Lanovací stroj L04 HS330	4,57	13,16	60,14
Plášťová linka C4-HS320	2,356	124,71	293,81
<b>Celkem</b>	<b>20,087</b>	<b>669,53</b>	<b>1123,24</b>

Tabulka 10: Spotřeba energie při výrobě 1 km výtahového kabelu



Obrázek 27: Blokové schéma výrobního procesu výtahového kabelu

Celý proces výroby začíná u nakoupení měděného lana o průřezu  $8\text{mm}^2$  na burze. Toto lano je dále zpracováváno na hrubotahu, kde se lano protahuje skrz diamantové očka na hodnotu  $1,34\text{mm}^2$ , aby se docílilo jeho zúžení. Hrubotah běží rychlostí 25 metrů za sekundu. Kvůli fyzikálním zákonům je zapotřebí takto namáhanou měď žíhat, aby se redukovalo materiálové pnutí a měď nepraskala. Měděné lanka jsou tažena skrze další diamantové očka s menším průměrem na jemnotažících strojích Niehoff do průřezu 0,19 a 0,20mm. Z těchto jemných lanek se na lanovacích strojích spletnou žíly  $3 \times 8 \times 0,19$ ,  $4 \times 8 \times 0,19$  a  $2 \times 6 \times 0,20$ . Žíly jsou potáhnuty izolačním materiálem z polyvinylchloridu (PVC) na izolační lince X. Izolované vodiče jsou znovu na lanovacích strojích L04 spletna. Na konci procesu výrobku jsou všechny kabely naskládány vedle sebe dle výrobního plánu a obalena plášťovým materiálem z měkkého polyvinylchloridu (PVC) na plášťové lince

C4. Část plášt'ování spočívá v roztopení tepelných hlav, které rozpustí barevný granulát a nanesou tuto hmotu na izolované vodiče. Nahřívání hlavy v tomto případě trvá přibližně 3 hodiny.

Jak je vidět na tomto konkrétním kabelu výroba je složitá. Na jeden kilometr tohoto typu kabelu je potřeba přibližně 20 hodin výroby a 1123,24 kWh. V tomto součtu spotřeby není započítána testovací část, kdy kabel musí například vydržet neustálé ohýbání, tak jak je tomu ve výtahové šachtě.

## **5.6 Možnosti řízení spotřeby**

V teoretické praxi máme několik možností, jak řešit řízení spotřeby, tak aby nebylo možné přesáhnout smluvené čtvrt hodinové maximum. Avšak v reálné praxi je to poněkud složitější a je na samotném výrobním závodu, jak se zachová. Jestliže bude preferovat vyšší cenu u smluveného maxima a bude mít dostatečně velkou rezervu, aby k překročení nikdy nedošlo. Nebo si nastaví takové čtvrt hodinové maximum u poskytovatele energie, aby bylo dostačující, ale v případě potřeby odkládat spouštění energicky náročných linek na dobu, kdy ostatní takové linky nebudou v provozu. Samozřejmě tato možnost omezuje závod ve výrobě a nemusí stíhat poskytovat výrobky svým zákazníkům.

### **5.6.1 Teoretické možnosti řízení spotřeby**

V tomto případě můžeme přemýšlet o domluvě s plánovači, aby byli schopni v případě většího nárůstku procentuálního vyčerpání čtvrt hodinového maxima včas reagovat na tyto případy a sdělit operátorům ve výrobě příkazy, tak aby snížily například rychlost na linkách, tím dojde ke snížení spotřeby. Po začátku další čtvrt hodinky by se zase mohl stroj zpět vrátit do své původní výrobní rychlosti. Tento princip lze použít u lanovacích strojů, ale je nutné odstavovat tento stroj pozvolna, aby nedošlo k přetrhání vodičů, a tím k výpadku výroby.

Další možností je nezapínání výkonově náročných strojů současně. V praxi by to vypadalo tak, že by se spustila například polovina těchto strojů a v časovém horizontu by se druhá část mohla spustit až po zastavení první zmíněné skupině strojů. Tento způsob není však realizovatelný z důvodu omezování výrobních kapacit a není finančně výhodný.

## 5.6.2 Reálná praxe

V reálné praxi je možností, jak omezit aktuální spotřebu méně. Lze to například dosáhnout vypínáním nepotřebných věcí. Jak již bylo zmíněno, mohou to být nabíječky na vysokozdvizné vozíky, klimatizace, osvětlení. Ve výrobním závodě jsme instalovali LED světla a tím snížili celkovou spotřebu. Tyto světla jsou regulovatelné, dokážou podle intenzity okolního světla přizpůsobovat svítivost a tím snižovat spotřebu energie. Konkrétně se jedná o typ LLHP RALEDLINE 1500 PC/HD. Před realizací tohoto projektu bylo nutné změřeni spotřeby původních světel a vypočítání teoretické úspory. Hodnoty jsou počítány při maximální intenzitě zařízení. Avšak je zde brán potaz, že světla nesvítí celých 24 hodin, ale je počítáno přibližně s 16 hodinami zapnutého stavu. Jak je tomu popsáno v tabulce č. 11

	Obyčejné zářivky		LED zářivky		Úspora [%]
	Spotřeba energie [kWh]	Cena [€]	Spotřeba energie [kWh]	Cena [€]	
Spotřeba za 1 den	3552,19	213,14	845,21	50,72	<b>76%</b>
Spotřeba za 1 měsíc	96517,25	5791,04	22876,35	1372,58	

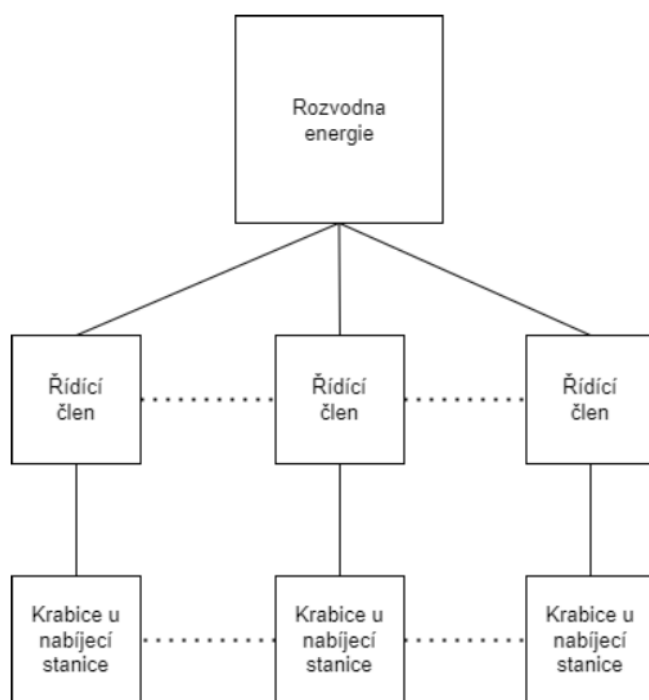
Tabulka 11: Teoretická spotřeba osvětlení

## 5.6.3 Spotřeba nabíječek pro vysokozdvizné vozíky

Další možností je vypínat nabíječky na vysokozdvizné vozíky podle potřeby. Tato možnost je zatím v realizaci. V tuto dobu máme objednané elektroměry, které by se použili na měření spotřeby nabíječek, ale dodavatel má datum dodání začátkem června. Pro orientační zjištění spotřeby těchto nabíječek byl použit klešťový ampérmetr. Zjistilo se, že jednou nabíjecí stanicí v plném zatížení protéká proud 11A. Celkem zde máme 10 nabíjecích stanic, což by odpovídalo celkovému výkonu při plném zatížení 41,8kW. Spotřeba by pak byla 41,8kWh. Musíme vzít v potaz, že nikdy nejsou všechny nabíječky společně v provozu. Většinu času jsou společně zapojeny 4-5 nabíječek, což odpovídá spotřebě 20,9kWh. Když vezmeme v potaz, že spotřeba za pouhých 5 minut je zde ve výrobním závodě přibližně 2000-2500 kWh. Odpojováním nabíjecích stanic bychom dosáhli přibližně snížení procentuálního využití rezervy o 1 %. Tato hodnota se nezdá být vysoká, ale poskládáme-li více možností, kde můžeme snížit spotřebu, dosáhneme tak omezení energetických špiček. Omezením špiček by bylo možné snížit rezervované maximum a tím i snížit celkovou cenu za rezervaci energie.

Nejprve je nutné promyslet, jestli toto řešení je výhodné z hlediska nákladů.

V případě, že by došlo k procentuálnímu nárůstu spotřeby například nad 70 % smlouveného čtvrt hodinového maxima, tak by došlo pomocí řídicího členu zapojeného mezi rozvodnou krabicí u nabíječek a rozvodnou elektrické energie k odpojení spotřebiče, jak je vidět na obrázku č. 28. Jako řídicí člen bude použito zařízení od značky KMB, tak jako tomu je u čidel Novar. Celkem máme zapojených 8 nabíječek na vozíky.



Obrázek 28: Blokové schéma měřící soustavy nabíječek pro vozíky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.4, dalším zařízením, které je možné vypínat, jsou kompresory. Principiálně by šlo o stejné zapojení, jako je použito u nabíječek na vozíky. V případě nárůstu spotřeby by řídicí člen odpojil kompresory od elektřiny. Pro toto řešení by se muselo investovat do větších zásobníků na stlačený vzduch, aby kompresory naplnily dostatečné množství vzduchu, které by vydrželo pod určitým tlakem nejméně 15 minut.

#### 5.6.4 Krátkodobý efekt snížení spotřeby

Krátkodobým efektem snížení spotřeby je myšleno omezení špiček energetické spotřeby. Jak již bylo řečeno, omezení špiček je možné pouze vypínáním spotřebičů.

Z výzkumu, které spotřebiče je možné vypínat bylo zjištěno, že v současné době by to mohli být pouze nabíječky na vysokozdvizné vozíky, klimatizace a osvětlení. Z krátkodobého hlediska bychom tímto omezili možnost překročení čtvrt hodinového maxima. K tomuto překročení by docházelo jenom velmi zřídka, ale i to je nepřijatelné z hlediska budoucích nákladů za energii, protože překročení smlouvaného maxima je přísně penalizováno. Proto musíme nastavit čtvrt hodinové maximum na takovou hodnotu, aby nemohlo dojít k překročení a zároveň se neplatilo zbytečně za nevyužitou energii.

### **5.6.5 Dlouhodobý efekt snížení spotřeby**

Z dlouhodobého pohledu by nejlepší možností, jak omezit tarif za odebranou energii bylo rovnoměrné rozložení energie na přibližně stejnou hodnotu. Tím by se mohla nasmlouvat nižší tarifní cena. Avšak v průmyslu výroby kabelů, je prakticky nemožné se soustředit na rovnoměrné rozložení spotřebované energie. Hlavním dopadem tímto rozhodnutím by bylo snížení výrobních kapacit a tím i menší zisk z vyprodukovaných výrobků.

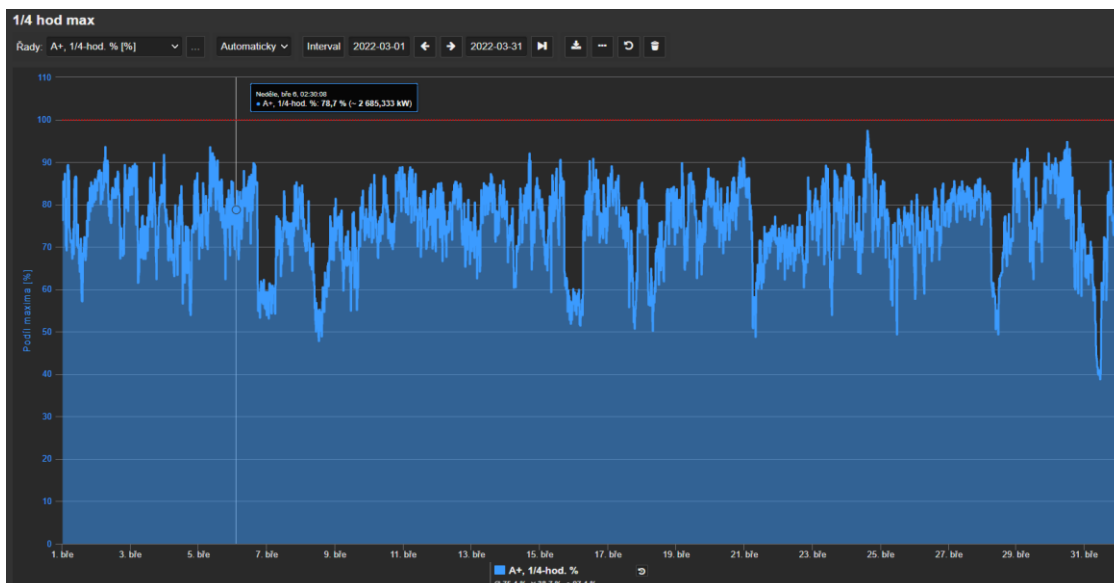
V praxi by to vypadalo tak, že by se muselo odložit spouštění některých strojů, to je nereálné kvůli výrobě polotovarů.

## **5.7 Předpoklad ušetřené ceny za energii**

Ke stanovení nějakých závěrů je potřeba dlouhodobé měření. Toto měření je funkční od začátku ledna roku 2022. Z dat, které byly dosud změřeny je vidět, že průměr spotřeby je přibližně mezi 70-75 % rezervovaného maxima. Avšak nás zajímají špičkové hodnoty, ty celkem často přesahují 90 %. Maximální hodnota, která byla změřena za čtyři měsíce je 98,1 % dohodnutého maxima. Nejčastější hodnota nad devadesáti procenty je přibližně 93 %.

Z toho vyplývá, že bychom mohli snížit nasmlouvané maximum o 4-5 %, avšak na tento krok potřebujeme ještě časový interval v řádu měsíců, abychom dokázali omezit případné špičkové hodnoty. K tomu by nám mohlo pomoci regulované vypínání nabíjecích stanic na vysokozdvizné vozíky, zapojení solárních panelů, zvětšení tlakových nádob na stlačený vzduch a baterie.

Na obrázku č. 29 je vidět měsíční využití čtvrt hodinového maxima za měsíc březen.



Obrázek 29: Graf procentuálního využití 1/4hodinového maxima

V současné době máme tarif od poskytovatele energie 3,42MWh na čtvrt hodinu. Kdyby momentální cena za 1MWh byla 150 000kč/měsíc. Celková cena za energii by odpovídala 513 000kč/měsíc. Kdybychom tuto hodnotu snížili o 5 %, měli bychom nasmlouvanou hodnotu 3,249MWh na čtvrt hodinu, což by odpovídalo částce 487 350kč/měsíc. Ušetření ceny by odpovídalo 25 650kč/měsíc.

Momentálně je dosahováno přibližně 75% rezervované kapacity za čtvrt hodinu. V případě, kdybychom dosáhli ustálení spotřeby energie na 80 % pro případ určité rezervy. Ušetřená částka by dosahovala sto tisíc korun každý měsíc.

Reálně spotřebovaná energie by měla stále stejnou cenu, dle smlouvy.

## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo změřit a zhodnotit energetickou náročnost výrobního závodu. Nedílnou součástí toho je i prostudovat možnosti optimalizace využití elektrické energie a reálného řízení spotřeby pomocí regulace administrativními kroky.

V teoretické části této práce je popsána distribuční síť elektrické energie v ČR od elektrárny až po výrobní závod na zpracování měděných lan a výrobu elektrických kabelů. Dále je zde vysvětlené čtvrt hodinové maximum, které využívá Draka Kabely. Druhá kapitola pojednává o stručném popisu výrobního závodu, taktéž o linkách na výrobu kabelů a rozvodnách, do kterých jsou tyto linky zapojeny. Třetí kapitola se zabývá měřením spotřeby a použitelných měřících přístrojů pro naše potřeby. Je zde vysvětlen princip Modbus protokolu, který používají zapojená čidla. Dále je zde zmíněná cena spotřebované energie a možnosti regulace.

Praktická část se zabývá celkovým návrhem zapojení měřících čidel Novar, implementací a jejich nakonfigurováním. Vysvětlení schématu topologie přepínače a ústředny. Hlavním ztřením této práce je ušetření spotřeby energie. Nejprve bylo zapotřebí vytipovat jaké spotřebiče můžeme a nemůžeme regulovat. Neregulovatelné jsou výrobní linky, protože v případě zastavení výroby by se mohl kabel zničit a skončit v odpadu. Možností by bylo snížit výrobní rychlost dané linky. Snížit rychlost by bylo možné u přetáček strojů. Možné dočasné snížení rychlosti převýjecích linek a jeho vliv na okamžitou spotřebu energie je předmětem další analýzy. V této fázi vývoje se soustředíme na procesy, které je možné dočasně odstavit. Pro představu byla popsána výroba jednoho z nejsložitějších kabelů pro výtahové použití.

V současné době není moc možností, jak omezit špičkové hodnoty spotřeby. Jednou z možností je odepínání nabíječek na vysokozdvizné vozíky. Podle nejnovějších měření by snížení spotřeby nebylo procentuálně příliš velké, je to ale důležitý příklad možného řešení, který povede k hlubší analýze v rámci výrobního závodu, které další spotřebiče je možné vypínat nebo regulovat. Kdybychom dokázali regulovat více takovýchto zařízení, tak bychom se dostali na jednotky procent úspory rezervovaného tarifu. Tímto postupem bychom mohli v budoucnu snížit rezervované maximum a výrazně snížit cenu rezervace.

Z dlouhodobého hlediska by se dala spotřeba rovnoměrněji rozložit pomocí úprav některých podpůrných technologií, např. větší nádoby na stlačený vzduch u kompresorů. Snížení celkové spotřeby nastalo po nahrazení obyčejných zářivek ledkovými světly s možností regulace intenzity podle světla.

Tato práce ukázala, jak moc je výroba kabelů závislá a náročná na spotřebované energii a je potřeba snižovat náklady za energii v nejvyšší možné míře.

## LITERATURA

- [1] DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA. Svetenergie [online]. 2020 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobne/distribucni-soustava/vyklad>
- [2] ELEKTRIZAČNÍ A PŘENOSOVÁ SOUSTAVA. Svetenergie [online]. 2020 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobne/elektrizacni-a-prenosova-soustava/vyklad>
- [3] TECHNICKÁ DATA. Svetenergie [online]. 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data>
- [4] Www.kilion.cz [online]. [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://kilion.cz/cs/ukazky-praci/prysmian-draka-kabely-s-r-o-on-line/>
- [5] Česká přenosová a distribuční soustava. [online]. 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-1-dil-elektrifikace-a-princip-funkce>
- [6] Řízení čtvrt hodinového maxima [online]. 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/13513-rizeni-ctvrthodinoveho-maxima>
- [7] ZMĚNA TYPU MĚŘENÍ [online]. 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/elektromery-a-odecty/zmena-typu-mereni>
- [8] PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ LOKÁLNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY LIGNA, a.s. [online]. 2014 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462808/P%C5%99%C3%ADloha+%C4%8D.+5\\_Ligna.pdf/95b6550f-267c-44a4-a0b6-6904086ea6e0](https://www.eru.cz/documents/10540/462808/P%C5%99%C3%ADloha+%C4%8D.+5_Ligna.pdf/95b6550f-267c-44a4-a0b6-6904086ea6e0)
- [9] MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE VZDÁLENÝCH ZAŘÍZENÍ [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65389](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65389). DIPLOMOVÁ PRÁCE. VUT Brno.
- [10] Regulace spotřeby energie v domech a bytech [online]. Praha, 2015 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: [https://is.ambis.cz/th/mtlfm/BPkalivoda\\_30042015.pdf](https://is.ambis.cz/th/mtlfm/BPkalivoda_30042015.pdf). Bakalářská práce. Bankovní institut vysoká škola Praha.
- [11] Regulace spotřeby elektrické energie [online]. 2006 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/regulace-spotreby-elektrické-energie>
- [12] Regulace spotřeby elektrické energie [online]. In: . s. 29 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: [http://www.edumat.cz/texty/Regulace\\_spotreby.pdf](http://www.edumat.cz/texty/Regulace_spotreby.pdf)
- [13] Přehled protokolu MODBUS [online]. 2005 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>

- [14] *Dokumentace protokolu Modbus-TCP a Modbus-RTU pro panelové měření přístroje, analyzátory kvality a regulátory jalového výkonu* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.kmbssystem.com/cs/produkty/regulatory-jaloviny/novar-2400>
- [15] *Vznik jalového proudu* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-06-24.3784549285>
- [16] *Elektrický výkon* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD\\_v%C3%BDkon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_v%C3%BDkon)
- [17] *Modbus* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [18] *Přehled protokolu MODBUS* [online]. 2005 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [19] *DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava>
- [20] *Výkony střídavého proudu* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [https://www.ssph.cz/vyuka/wp-content/uploads/2020/03/ze-vykony\\_st\\_proudu\\_ucinik.pdf](https://www.ssph.cz/vyuka/wp-content/uploads/2020/03/ze-vykony_st_proudu_ucinik.pdf)