



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OPTIMALIZACE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 110 KV V UZLOVÉ OBLASTI PŘEŠTICE

OPTIMIZATION OF THE 110 KV DISTRIBUTION SYSTEM IN THE PŘEŠTICE
NODAL REGION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Nagy

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Topolánek, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

Magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Pavel Nagy

ID: 154815

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace distribuční soustavy 110 kV v uzlové oblasti Přeštice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis současného stavu distribuční soustavy v dané oblasti.
2. Analýza současného stavu na základě počítačového modelu.
3. Návrh optimalizace zapojení distribuční soustavy 110 kV v dané oblasti.
4. Vyhodnocení variant.
5. Závěry a doporučení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 4. 2. 2019

Termín odevzdání: 22. 5. 2019

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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. 121/2000Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce popisuje současný stav dané části distribuční soustavy. Následně se pokouší na základě počítačového modelu zjistit problémy v případě poruchy, či odstávky libovolného vedení. Simulace jsou prováděny jak se současným zatížením, tak i se zatížením které tato práce předpokládá v budoucnu. Pro jednotlivé zjištěné problémy jsou navržena dílčí řešení, ze kterých jsou některá využita pro celkový návrh zapojení dané části distribuční soustavy. V poslední části se práce zabývá porovnáním různých typů vedení a jejich případné začlenění do návrhu.

KLÍČOVÁ SLOVA: distribuční soustava; optimalizace distribuční soustavy; spolehlivost elektrizační soustavy; uzlová oblast Přeštice; vedení velmi vysokého napětí

ABSTRACT

This work describes an actual condition of a specific part of a distribution power grid. It is a research of problems based on the computer model in case some power line is in failure or shut down. Simulations are calculated for both currently used load and load expected in future usage. There are partial solutions depicted for each issue found during the simulation. Some of those are used for a final design of a distribution power grid. In the last section, there is a comparison of different types of power lines and their possible usage in the design.

KEY WORDS: distribution grid; optimalization of a distribution power grid; Přeštice nodal region; reliability of a power grid; very high voltage power line

Prohlášení autora o původnosti díla

*„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Optimalizace distribuční soustavy 110 kV v uzlové oblasti Přeštice* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: **20. května 2019**

.....
Pavel Nagy, podpis

Bibliografická citace práce:

NAGY, Pavel. *Optimalizace distribuční soustavy 110 kV v uzlové oblasti Přeštice*. Brno, 2019. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119197>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce David Topolánek.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Topolánkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl velmi poděkovat panu Ing. Petru Křesálkovi, zadavateli této práce i dalším pracovníkům ČEZ Distribuce, a. s., kteří mi poskytli důležité podklady a cenné rady nezbytné pro úspěšné dokončení této práce. V neposlední řadě patří můj velký dík mým rodičům, celé rodině a mé přítelkyni za neustálou podporu nejen během psaní diplomové práce, ale i během celého studia.

V Brně dne 20. května 2019

.....

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ.....	10
SEZNAM ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
2 CÍLE PRÁCE	13
3 ANALYZOVANÁ ČÁST DS.....	14
4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU.....	15
4.1 ROZVODNA PŘEŠTICE.....	15
4.1.1 PLÁNOVANÝ ROZVOJ ROZVODNY	15
4.2 VEDENÍ 110 kV V DANÉ OBLASTI	16
4.3 ROZVODNY VVN/VN.....	17
4.4 TVORBA POČÍTAČOVÉHO MODELU	18
4.4.1 PROGRAM LUG.....	18
4.4.2 POSTUP TVORBY POČÍTAČOVÉHO MODELU	18
4.5 PARAMETRY SÍTĚ	19
4.6 PŘEDPOKLAD NÁRŮSTU ZATÍŽENÍ V DANÉ OBLASTI.....	20
4.7 VYHODNOCENÍ KRITÉRIA N-1 PRO MODEL S AKTUÁLNÍMI DATY.....	21
4.7.1 VYHODNOCENÍ KRITÉRIA N-1.....	22
4.7.2 ROZVINUTÉ KRITÉRIUM N-1 NA DVOJITÁ VEDENÍ	23
4.8 VYHODNOCENÍ KRITÉRIA N-1 PRO ZATÍŽENÍ OČEKÁVANÉ V BUDOUCNU.....	24
4.9 ZÁVĚRY PLYNOUCÍ Z VYHODNOCENÍ KRITÉRIA N-1	25
5 NÁVRH MOŽNÝCH ŘEŠENÍ ZJIŠTĚNÝCH PROBLÉMŮ.....	26
5.1 NAVÝŠENÍ PRŮŘEZU	27
5.1.1 NAVÝŠENÍ PRŮŘEZU PRO PŘEDPOKLÁDANÉ ZATÍŽENÍ V ROCE 2025	27
5.1.2 NAVÝŠENÍ PRŮŘEZU PRO PŘEDPOKLÁDANÉ ZATÍŽENÍ V ROCE 2030	27
5.1.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	29
5.2 ZDVOJENÍ VEDENÍ	29
5.2.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	30
5.3 VEDENÍ Z DS E.ON	31
5.3.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	32
5.4 VEDENÍ DOMAŽLICE–KDYŇE–NÝRSKO	33
5.4.1 DOMAŽLICKÁ ČÁST DS	33
5.4.2 REALIZACE VEDENÍ DOMAŽLICE–KDYŇE–NÝRSKO	36
5.4.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	39
5.5 VEDENÍ KLATOVY–VYDRA	40
5.5.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	41
5.6 SOUHRN JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ	41

6 CELKOVÉ NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ.....	42
6.1 ZAMÍTNUTÉ VARIANTY	42
6.1.1 ZDVOJENÍ VEDENÍ.....	42
6.1.2 VEDENÍ Z DS E.ON.....	42
6.2 POPIS CELKOVÉHO NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ.....	42
6.3 NÁVRH CELKOVÉHO ŘEŠENÍ PRO PŘEDPOKLÁDANÉ ZATÍŽENÍ V ROCE 2050	43
6.4 CELKOVÉ EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	48
7 MOŽNOSTI PRO VÝSTAVBU VEDENÍ VVN	49
7.1 ELEKTRICKÁ VEDENÍ V KRAJINĚ	49
7.1.1 NADZEMNÍ VEDENÍ 110 kV V KRAJINĚ.....	49
7.1.2 IZOLOVANÁ (KOMPAKTNÍ) NADZEMNÍ VEDENÍ V KRAJINĚ	50
7.1.3 KABELOVÉ VEDENÍ 110 kV V KRAJINĚ.....	51
7.2 POROVNÁNÍ NADZEMNÍHO A KABELOVÉHO VEDENÍ	52
7.2.1 PODROBNĚJŠÍ EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ NADZEMNÍHO A KABELOVÉHO VEDENÍ	53
7.3 ZAHRNUTÍ TYPŮ VEDENÍ DO KONKRÉTNÍCH VARIANT	54
7.3.1 NÁVRH KABELOVÉHO VEDENÍ K ROZVODNĚ VYDRA	54
8 SHRNTÍ A DOPORUČENÍ.....	59
9 ZÁVĚR.....	60
POUŽITÁ LITERATURA	61
PŘÍLOHA A	62
PŘÍLOHA B.....	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3.2 Oblast distribuční soustavy zvolená pro optimalizaci</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3.1 Rozdělení distribuční soustavy mezi jednotlivé společnosti (kruhem označena probíraná oblast)</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4.1 Liniové schéma dané části soustavy</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4.2 Graf odebíraného činného výkonu v minulosti z jednotlivých rozvodů</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 4.3 Graf odebíraného jalového výkonu v minulosti z jednotlivých rozvodů</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5.1 Liniové schéma s posílenými vedeními (modře – rok 2025, oranžově – rok 2030)</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5.2 Liniové schéma se zdvojenými vedeními (čárkovaně – nová vedení)</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5.3 Situační náčrtek vedení z DS E.ON</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5.4 Liniové schéma s navrhovaným vedením z DS E.ON (čárkovaně)</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 5.5 Liniové schéma analyzované části DS</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5.6 Vývoj odběru činných výkonů z jednotlivých rozvodů v letech 2014–2018</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5.7 Situační náčrtek vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5.8 Liniové schéma vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko propojujícího dvě části DS</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 5.9 Navrhované vedení Klatovy–Vydra (čárkovaně)</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 6.1 Stožár vedení V1248</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6.2 Liniové schéma celkového navrhovaného řešení (předpokládaná spotřeba pro rok 2050)</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7.1 Ochranné pásmo nadzemního vedení</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 7.2 Odvíjení kabelu 110 kV z bubnu</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 7.3 Koridor kabelu 110 kV</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 7.4 Část vedení k rozvodně Vydra přes NP Šumava (modře) a CHKO Šumava (oranžově)</i>	<i>54</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Parametry vedení v dané oblasti.....	16
Tab. 4.2 Hodnoty základních veličin vedení v modelu	19
Tab. 4.3 Hodnoty základních veličin uzlů v modelu.....	19
Tab. 4.4 Parametry přímek prokládající grafy odebíraných výkonů v rozvodnách.....	21
Tab. 4.5 Parametry v rozvodnách předpokládané pro roky 2025 a 2030.....	21
Tab. 4.6 Vybrané výsledky vyhodnocení kritéria N-1 pro vedení	22
Tab. 4.7 Napětí v jednotlivých uzlech (rozvodnách) při vyhodnocování kritéria N-1	22
Tab. 4.8 Vybrané výsledky vyhodnocení rozvinutého kritéria N-1.....	23
Tab. 4.9 Napětí v jednotlivých uzlech při vyhodnocování rozvinutého kritéria N-1.....	23
Tab. 4.10 Poměrná zatížení vedení při vyhodnocení kritéria N-1.....	24
Tab. 4.11 Napětí v rozvodnách při vyhodnocení kritéria N-1.....	24
Tab. 5.1 Předpokládané zatížení pro rok 2025 – V1264 s lany 3×240AlFe.....	27
Tab. 5.2 Předpokládané zatížení pro rok 2030 – V1262, V1263 a V1264 posílena	28
Tab. 5.3 Předpokládané zatížení pro rok 2030 – V1264 a V1263 zdvojena	30
Tab. 5.4 Parametry přímek prokládající grafy odebíraných výkonů v rozvodnách.....	34
Tab. 5.5 Předpokládané parametry v uzlech v roce 2030.....	35
Tab. 5.6 Parametry vedení v Domažlické části DS.....	35
Tab. 5.7 Parametry navrhovaných vedení na trase Domažlice–Kdyně–Nýrsko.....	38
Tab. 5.8 Vyhodnocení kritéria N-1 – předpokládané zatížení pro rok 2030.....	38
Tab. 5.9 Parametry vedení pro návrh vedení Klatovy–Vydra.....	40
Tab. 6.1 Předpokládané parametry v uzlech v roce 2050.....	43
Tab. 6.3 Poměrné zatížení vedení ve finálním návrhu s předpokládaným zatížením v roce 2050.....	45
Tab. 6.4 Napětí v uzlech finálního návrhu s předpokládaným zatížením v roce 2050	46
Tab. 6.5 Investiční výdaje ČEZ Distribuce, a. s.	48
Tab. 7.1 Porovnání různých typů vedení 110 kV	52
Tab. 7.2 Parametry vedení pro částečnou kabelizaci na trase k rozvodně Vydra – jen v NP	55
Tab. 7.3 Parametry vedení pro částečnou kabelizaci na trase k rozvodně Vydra – v NP i CHKO.....	55
Tab. 7.4 Porovnání účinníků pro různé fáze kabelizace vedení k rozvodně Vydra.....	56
Tab. 7.5 Vypočítaný kompenzační výkon.....	57

SEZNAM SYMBOLŮ

symbol	popis	jednotka
B	susceptance	S
G	konduktance	S
I	elektrický proud	A
I_1	elektrický proud na začátku vedení	A
I_2	elektrický proud na konci vedení	A
I_{max}	maximální dovolený elektrický proud	A
l	délka	m
P	činný výkon	W
P_1	činný výkon na začátku vedení	W
P_2	činný výkon na konci vedení	W
P_{odb}	odebíraný činný výkon	W
P_{gen}	generovaný činný výkon	W
ΔP	ztráty činného výkonu	W
Q	jalový výkon	Var
Q_1	jalový výkon na začátku vedení	Var
Q_2	jalový výkon na konci vedení	Var
Q_{odb}	odebíraný jalový výkon	Var
Q_{gen}	generovaný jalový výkon	Var
Q_k	kompensační jalový výkon	Var
R	elektrický odpor	Ω
U	napětí	V
U_n	jmenovité napětí	V
U_N	napětí v bezporuchovém stavu	V
U_{N-1}	napětí při jedné poruše	V
X	reaktance	Ω
ZAT	poměrné zatížení	%
ZAT_N	poměrné zatížení v bezporuchovém stavu	%
ZAT_{N-1}	poměrné zatížení při jedné poruše	%
φ	fázový posuv mezi napětím a proudem	$^\circ$
φ_k	kompenzovaný fázový posuv napětí a proudu	$^\circ$

SEZNAM ZKRATEK

zkratka	popis
a. s.	akciová společnost
CAPEX	capital expenditures (investiční výdaje)
DS	distribuční soustava
HVDC	vysokonapěťový stejnosměrný přenos
CHKO	chráněná krajinná oblast
mil.	milión
nn	nízké napětí
NP	národní park
Obr.	obrázek
OPEX	operating expense (provozní náklady)
PS	přenosová soustava
resp.	respektive
Sb.	sbírka
Tab.	tabulka
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
zvn	zvláště vysoké napětí

1 ÚVOD

Elektrizační (přenosová i distribuční) soustava je v České republice velice robustní a spolehlivý systém. Tento pozitivní stav zde máme zřejmě díky naší geografické situaci a velké průmyslové tradici. Přesto je, jak tomu už bývá ve všech odvětvích lidského počínání, co zlepšovat.

Distribuční soustava slouží k distribuci elektrické energie k jednotlivým odběratelům, popřípadě k připojení výroben menších výkonů do elektrizační soustavy. V současné době spravují distribuční soustavu tři společnosti (nepočítáme-li lokální distribuční soustavy). Jsou to ČEZ Distribuce, a. s., E.ON Distribuce, a. s. a PREdistribuce, a. s. Jelikož je zadavatelem této práce ČEZ Distribuce, a. s., budeme se zabývat pouze distribuční soustavou pod správou této společnosti.

Dále můžeme distribuční soustavu rozdělit podle napěťových stupňů na nn, vn a vvn. Zde zavedeme další omezení pro tuto práci, a to sice, že se budeme zabývat zpravidla částí distribuční soustavy vvn, neboli konkrétně 110 kV.

V takto vymezeném prostoru byla vybrána oblast, ve které má zadavatel obavy z možných negativních důsledků tamního zapojení sítě. Oblast byla zvolena z důvodu převahy pouze jednoduchých vedení. Tím pádem by se v případě jedné poruchy ocitlo několik rozveden na velmi dlouhém a jednoduchém paprsku.

Sledovanými veličinami jsou napětí a poměrné zatížení v bezporuchovém stavu i s uvažováním jedné poruchy. Pokud práce odhalí nepřípustné hodnoty těchto veličin, navrhne pro každý případ možnou nápravu. Půjde zejména o posilování vedení a o výstavbu vedení nových. Nejvhodnější návrhy budou vybrány a bude z nich sestaveno celkové navrhované zapojení dané části soustavy.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem první části této práce je popis zvolené oblasti v DS. K tomuto účelu bude vytvořen její počítačový model a na něm budou provedeny simulace ustáleného chodu v bezporuchovém stavu i při výpadku jednoho prvku. Tyto simulace mají za úkol odhalit možné problémy se zatížením vedení, úbytkem napětí a zabezpečeností dodávky elektrické energie. Kromě aktuálního zatížení bude uvažováno též zatížení předpokládané v budoucnu.

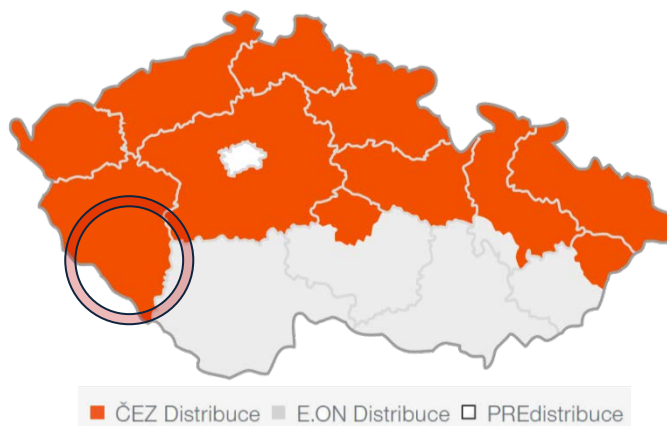
V následující části diplomové práce budou navržena možná řešení zmíněných problémů. Tato řešení budou posuzována ve výpočtovém programu a bude brána v úvahu též jejich ekonomická náročnost. V odůvodněných případech je vhodné brát v úvahu též dopad ekologický. Nakonec bude stanoveno celkové navrhované zapojení analyzované části DS.

3 ANALYZOVANÁ ČÁST DS

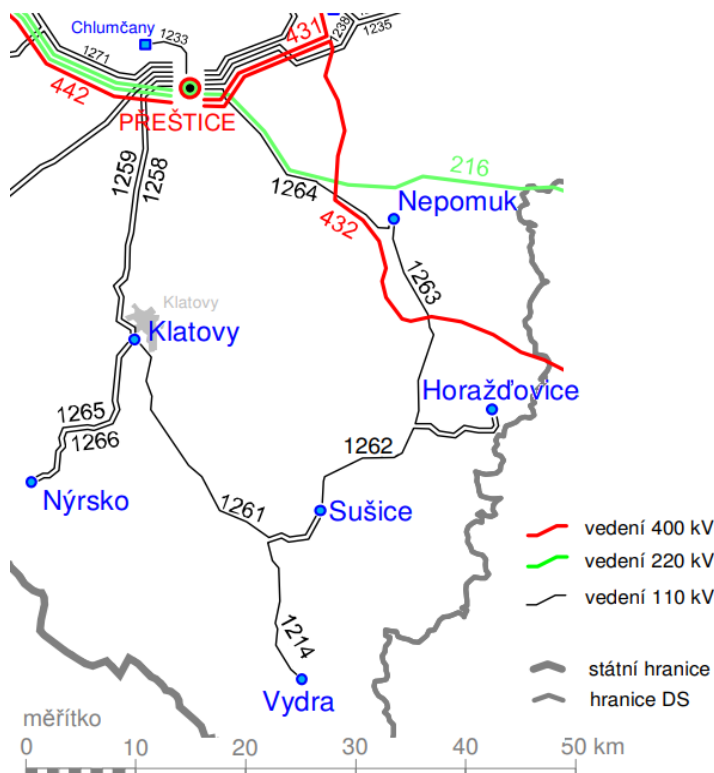
Jak bylo řečeno úvodem, tato práce se zabývá distribuční soustavou (DS) provozovatele ČEZ Distribuce, a. s. O jakou část území České republiky se jedná, můžeme vidět v mapce na obrázku 3.1. Po poradě se zadavatelem této práce byla vybrána část DS v jižní části Plzeňského kraje. Tato oblast je v obrázku 3.1 vyznačena kruhem.

Na obrázku 3.2 vidíme detailnější náskres situace v dané oblasti. Konkrétně tuto část soustavy tvoří rozvodny Nepomuk, Horažďovice, Sušice, Klatovy, Nýrsko a Vydra. Tyto rozvodny jsou propojeny příslušnými vedeními 110 kV.

Tato oblast byla zvolena z důvodu využití převážně jednoduchých vedení, i když většina zbytku DS je realizována vedením dvojitém. Současně je však nutno zmínit, že je tato část sítě zapojena jako okružní, což velmi přispívá k její spolehlivosti. Obavy tedy plynou převážně z možnosti výpadku, či odstávky jednoho vedení, nebo uzlu (rozvodny). Tím pádem by se zbytek sítě ocitl na velmi dlouhém jednoduchém paprsku. To by mohlo mít nežádoucí následky, jako kupříkladu zvýšení úbytku napětí, nebo nadměrné zatížení vedení.



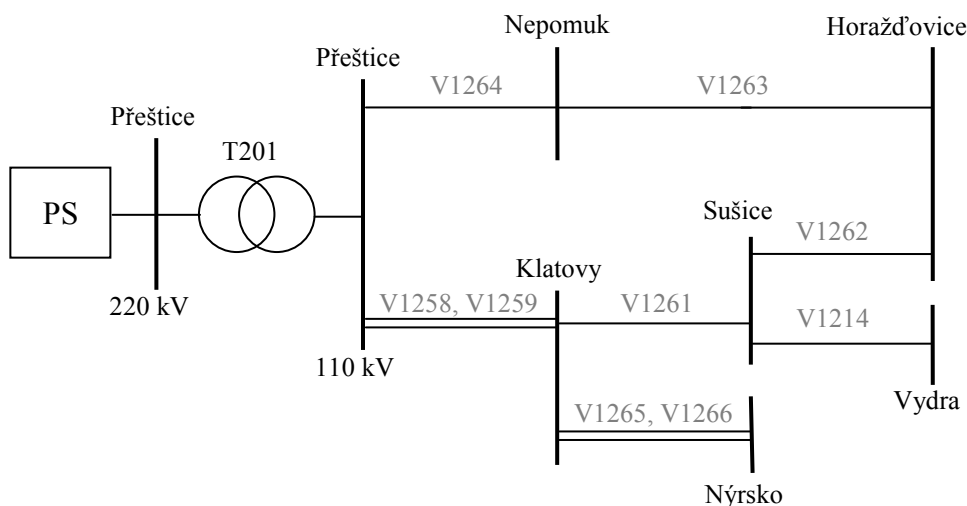
Obr. 3.1 Rozdělení distribuční soustavy mezi jednotlivé společnosti (kruhem označena probíraná oblast) [1]



Obr. 3.2 Oblast distribuční soustavy zvolená pro optimalizaci [2]

4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Vazbu na přenosovou soustavu zajišťuje pro danou oblast rozvodna Přeštice. Celkem se zde nachází více než 182 km vedení (110 kV). Tato vedení propojují kromě zmíněné rozvodny Přeštice dalších šest rozveden na napěťové hladině 110 kV. Konfigurace sítě je zde okružní, se dvěma vybíhajícími paprsky do rozveden Vydra a Nýrsko. Pro názornost níže nalezneme základní liniové schéma (obr. 4.1).



Obr. 4.1 Liniové schéma dané části soustavy

4.1 Rozvodna Přeštice

Tato rozvodna je ze strany přenosové soustavy připojena jak do napěťové hladiny 400 kV, tak i do hladiny 220 kV. Na druhé zmíněné napěťové hladině je zajištěno propojení s rozvodnou Vítkov pomocí dvojitého vedení. Jednoduché vedení přibližně opačným směrem připojuje rozvodnu Milín. Jednoduchými vedeními 400 kV jsou pak připojeny rozvodny Kočín, Chrást a německá rozvodna Etzenricht.

Transformaci na napěťovou hladinu 110 kV pro distribuční soustavu vvn zajišťují dva transformátory. Transformátor s označením T201 o jmenovitém zdánlivém výkonu 200 MVA pro transformaci 220/110 kV a transformátor označený jako T401 o jmenovitém zdánlivém výkonu 350 MVA pro transformaci 400/110 kV.

4.1.1 Plánovaný rozvoj rozvodny

Jelikož bude v následujících letech docházet k postupnému útlumu napěťové hladiny 220 kV, jsou již i v této rozvodně v plánu potřebné úpravy. Půjde o ukončení provozu transformátoru T201 (220/110 kV) a instalaci transformátoru T402 (400/110 kV) se jmenovitým zdánlivým výkonem 350 MVA. Ze strany přenosové soustavy bude tedy rozvodna využívat pouze napěťovou hladinu 400 kV. Tato úprava je plánována přibližně na rok 2040.

Dřívějším zásahem bude výměna stávajícího transformátoru T401 za nový stroj s obdobnými parametry. Plánovaným termínem výměny je rok 2025.

4.2 Vedení 110 kV v dané oblasti

Z celkové délky vedení 182 km je téměř 38 km vedeno dvojitě a zbylých 145 km je realizováno pomocí jednoduchých vedení. Veškerá tato vedení jsou realizována jako nadzemní. Jak je patrné z obrázku 6.2, dvojitá jsou vedení V1258, resp. V1259 a V1265, resp. V1266.

V následující tabulce 4.1 vidíme seznam všech vvn vedení v uvažované oblasti. Kromě zmíněných dvojitých vedení si můžeme povšimnout vedení V1262 a V1263, která jsou rozdělena na dva úseky. Každý úsek je veden odlišným typem lana, proto musíme toto rozdělení vzít v úvahu u provádění případných výpočtů a simulací. Zmíněná vedení jsou přibližně polovinu trasy zavěšena na společných stožárech typu soudek.

Dalšími vedeními, která jsou zavěšena část své trasy na společných stožárech, jsou vedení V1261 a V1214.

V následující tabulce (tab. 4.1) nalezneme parametry vedení použité pro následné výpočty. Můžeme si povšimnout, že mezi veličinami popisujícími vedení chybí svodová konduktance G . Ta nebyla mezi dostupnými daty a také ji můžeme zanedbat pro většinu běžných výpočtů.

Tab. 4.1 Parametry vedení v dané oblasti

Jméno	Typová tabulka	Vodič	l	U_n	R	X	B	R_0/R_1	X_0/X_1	I_{max}
–	–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	–	–	A
V1214	1V_120AlFe_185_JS	3×120AlFe6	20,507	110	4,6141	8,4099	56,8864	2,0	2,0	362
V1258	1V_450AlFe_KZL_DS	3×450AlFe6	27,230	110	1,7700	10,5380	81,5675	3,5	3,5	830
V1259	1V_450AlFe_KZL_DS	3×450AlFe6	27,250	110	1,7713	10,5458	81,6274	3,5	3,5	830
V1261	1V_240AlFe2_70_B	3×240AlFe	29,980	110	2,9980	11,2077	10,3431	3,5	3,5	550
V1262a	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	9,587	110	1,4956	3,6558	3,1788	3,5	3,5	483
V1262b	1V_185AlFe2_70_B	3×185AlFe	13,310	110	2,0764	5,0754	4,4132	3,5	3,5	483
V1263a	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	9,571	110	1,4931	3,6497	3,1735	3,5	3,5	483
V1263b	1V_185AlFe2_70_B	3×185AlFe	20,170	110	3,1465	7,6913	6,6878	3,5	3,5	483
V1264	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	24,090	110	3,7580	9,1861	7,9876	3,5	3,5	483
V1265	1V_240AlFe_185_B	3×240AlFe	19,035	110	1,9035	7,1160	6,5671	3,5	3,5	550
V1266	1V_240AlFe_185_B	3×240AlFe	19,029	110	1,9029	7,1138	6,5650	3,5	3,5	550

4.3 Rozvodny vv/vn

V dané oblasti se nachází celkem šest rozvodn, ve kterých dochází k transformaci z velmi vysokého na vysoké napětí. Základní informace o těchto rozvodnách nalezneme v následujícím výčtu:

Nepomuk

- jeden trojvinutový transformátor 110/22/6 kV o jmenovitém výkonu 25 MVA
- napájení z rozvodny Přeštice jednoduchým vedením (V1264 – 24 km)
- napájení z druhé strany pomocí série vedení o celkové délce bezmála 158 km

Horáždovice

- jeden trojvinutový transformátor 110/22/6 kV o jmenovitém výkonu 25 MVA
- napájení ze dvou stran po jednoduchých vedeních

Sušice

- dva transformátory 110/22/6 kV o jmenovitých výkonech 40 MVA a 25 MVA (transformátor o výkonu 25 MVA slouží jako záloha)
- napájení ze dvou stran po jednoduchých vedeních
- zaústění paprsku k rozvodně Vydra

Klatovy

- čtyři transformátory 110/22/6 kV, dva 40 MVA a dva 10 MVA (z toho jeden 40 MVA a jeden 10 MVA jako záloha)
- napájení z rozvodny Přeštice dvojitým vedením
- napájení z druhé strany jednoduchým vedením ze strany Sušice
- zaústění dvojitého vedení do rozvodny Nýrsko

Nýrsko

- jeden transformátor 110/22/6 kV o jmenovitém výkonu 25 MVA
- jediné napájení přes rozvodnu Klatovy dvojitým vedením
- leží na okraji CHKO Šumava

Vydra

- jeden transformátor 110/22/6 kV o jmenovitém výkonu 13 MVA
- vyvedení výkonu vodní elektrárny instalovaného výkonu 6,4 MW
- připojena jedním jednoduchým vedením z rozvodny Sušice
- elektrárna v provozu od roku 1939
- leží v NP Šumava

[3]

4.4 Tvorba počítačového modelu

Pro analýzu současného stavu a především pro posouzení případných navrhovaných změn, je nutné vytvořit počítačový model dané části sítě. Tento model byl vytvořen v programu LUG na základě dat poskytnutých společností ČEZ Distribuce, a. s.

4.4.1 Program LUG

Tento software je navržen pro simulaci elektrických sítí jak přenosové, tak i distribuční soustavy. Plná verze programu umožňuje provádět výpočty a simulace pro prakticky neomezený počet uzlů. Další výhodou je možnost importu/exportu dat z/do programů Microsoft Office, především Excel. [4]

Pro symetrický model sítě na napěťových hladinách nn, vn, vvn a zvn je LUG schopen provádět následující analýzy:

- střídavý i stejnosměrný ustálený chod
- napěťové poměry
- zkratové poměry
- kritérium N-1, resp. N-X
- kontrola dovolených napětí
- kontrola dovoleného zatížení prvků sítě
- kontrola bilance výkonu
- vyhodnocení ztrát
- a jiné... [4]

4.4.2 Postup tvorby počítačového modelu

Nejdříve bylo vytvořeno schéma a numerický model dané části sítě, tedy uzly (rozvodny) a vedení. Jelikož jsou vedení V1262 a V1263 rozdělena na dvě části („a“ a „b“), které jsou realizovány odlišným typem lana, byly mezi tyto části vloženy další uzly. Konkrétně uzly 62a/62b a 63b/63a. Nejedná se tedy o rozvodny, ale pouze o změnu typu vodiče. Další odlišnost vznikla u uzlů PRE_220 a PRE_400. Zde se jedná o části rozvodny Přeštice na příslušných napěťových hladinách přenosové soustavy (220 kV a 400 kV). Daná část DS je napájena z přenosové soustavy jmenovitého napětí 220 kV, proto byl uzel PRE_220 zvolen jako bilanční a napětí v něm nastaveno podle reálné hodnoty. Bilanční uzel udržuje výkonovou bilanci a též zadané napětí včetně jeho úhlu. S přípojnici 110 kV byly tyto uzly propojeny transformátory, u kterých bylo provedeno nastavení odboček tak, aby napětí na přípojnici 110 kV odpovídalo skutečnosti.

Následně byly nastaveny parametry všech prvků podle dostupných dat jejich skutečných protějšků. Odběry činného a jalového výkonu byly zadány podle dat dostupných z měření ve dni maxima. Dodávka těchto výkonů je zajištěna pomocí bilančního uzlu PRE_220. Jediným dalším výrobním uzlem je Vydra se stejnojmennou vodní elektrárnou.

Elektrárna Vydra naneštěstí nedisponuje velkou regulační schopností, co se napětí týče. Podle informací tamních pracovníků se s reálnou možností ovlivnění napětí v DS 110 kV ani nepočítá. Vhodnou dodávku jalového výkonu, pro zvýšení napětí v této odlehlé části soustavy, proto nemůžeme uvažovat.

Schéma zmíněné sítě i se zanesenými základními veličinami bylo vloženo jako příloha A.

4.5 Parametry sítě

V následující tabulce (tab. 4.2) nalezneme hodnoty základních veličin na vedení, obdržené z počítačového modelu. Dodržována je znaménková konvence, kdy záporné znaménko u výkonu znázorňuje jeho tok z uzlu do vedení.

Tab. 4.2 Hodnoty základních veličin vedení v modelu

Vedení	Začátek vedení					Konec vedení					ΔP ZAT	
	Uzel	U_1	P_1	Q_1	I_1	Uzel	U_2	P_2	Q_2	I_2		
–	–	kV	MW	MVAr	A	–	kV	MW	MVAr	A	kW	%
V1264	Přeštice	117,2	-25,6	-3,7	127	Nepomuk	116,1	25,4	3,4	127	182,7	26,4
V1263b	Nepomuk	116,1	-10,4	-0,4	52	63b/63a	115,8	10,4	0,4	52	25,21	10,7
V1263a	63b/63a	115,8	-10,4	-0,4	52	Horažďovice	115,6	10,3	0,4	52	11,97	10,7
V1262a	Horažďovice	115,6	-0,3	0,6	3	62a/62b	115,7	0,3	-0,5	3	0,04	0,7
V1262b	62a/62b	115,7	-0,3	0,5	3	Sušice	115,7	0,3	-0,5	3	0,05	0,6
V1261	Sušice	115,7	6,7	3,0	36	Klatovy	116,1	-6,7	-2,9	36	11,87	6,6
V1266	Klatovy	116,1	-4,0	-0,6	20	Nýrsko	116,0	4,0	0,6	20	2,31	3,7
V1265	Klatovy	116,1	-4,0	-0,6	20	Nýrsko	116,0	4,0	0,7	20	2,31	3,7
V1258	Přeštice	117,2	-27,5	-7,0	140	Klatovy	116,1	27,3	7,5	141	104,6	17,0
V1259	Přeštice	117,2	-27,4	-7,0	140	Klatovy	116,1	27,3	7,5	141	104,5	17,0
V1214	Vydra	115,8	-4,0	0,3	20	Sušice	115,7	4,0	0,5	20	5,51	5,5

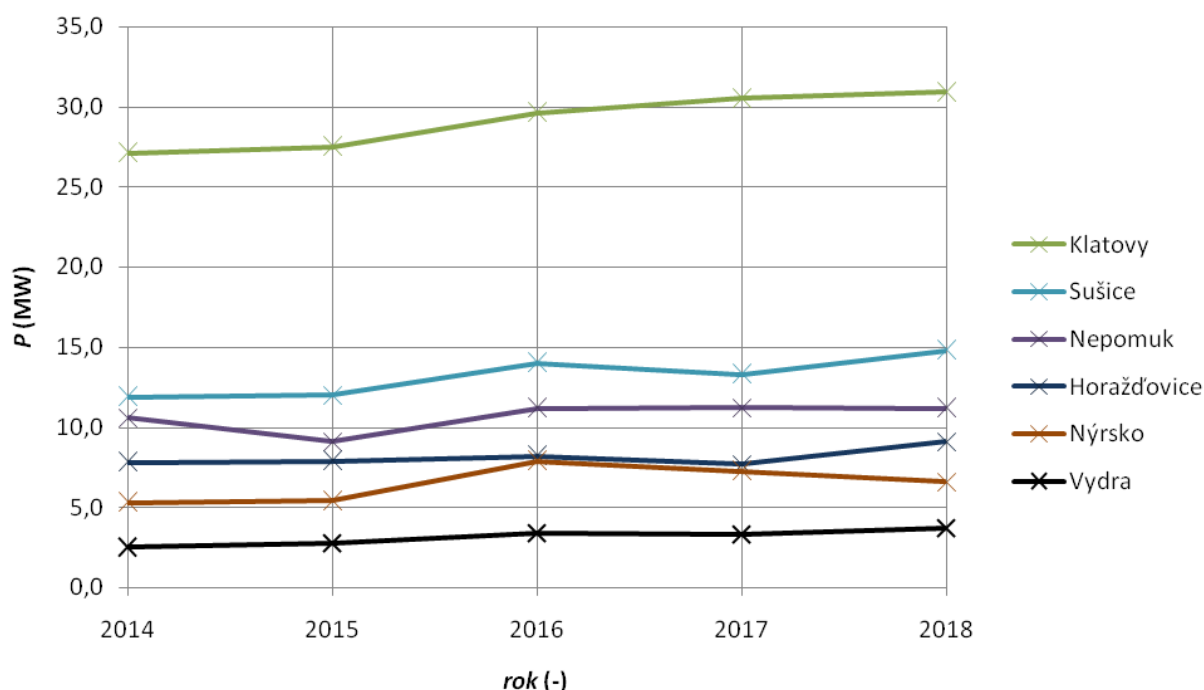
Dalším důležitým prvkem modelu jsou uzly, jejichž stav popisuje následující tabulka (tab. 4.3). Vidíme zde například, že všechny uzly byly charakterizovány činným a jalovým výkonem (uzly typu PQ), kromě uzlu bilančního (typ UD). Zmíněné výkony byly do modelu zadány a jsou tedy vstupní veličinou. Výroba v uzlu PRE_220 byla zadána tak, aby pokryla celkový zbývající odebíraný výkon. Výstupní veličinou je v tabulce 4.3 napětí. Výjimkou je napětí v bilančním uzlu PRE_220, které bylo zadáno podle reálné hodnoty na příslušné přípojnici.

Tab. 4.3 Hodnoty základních veličin uzlů v modelu

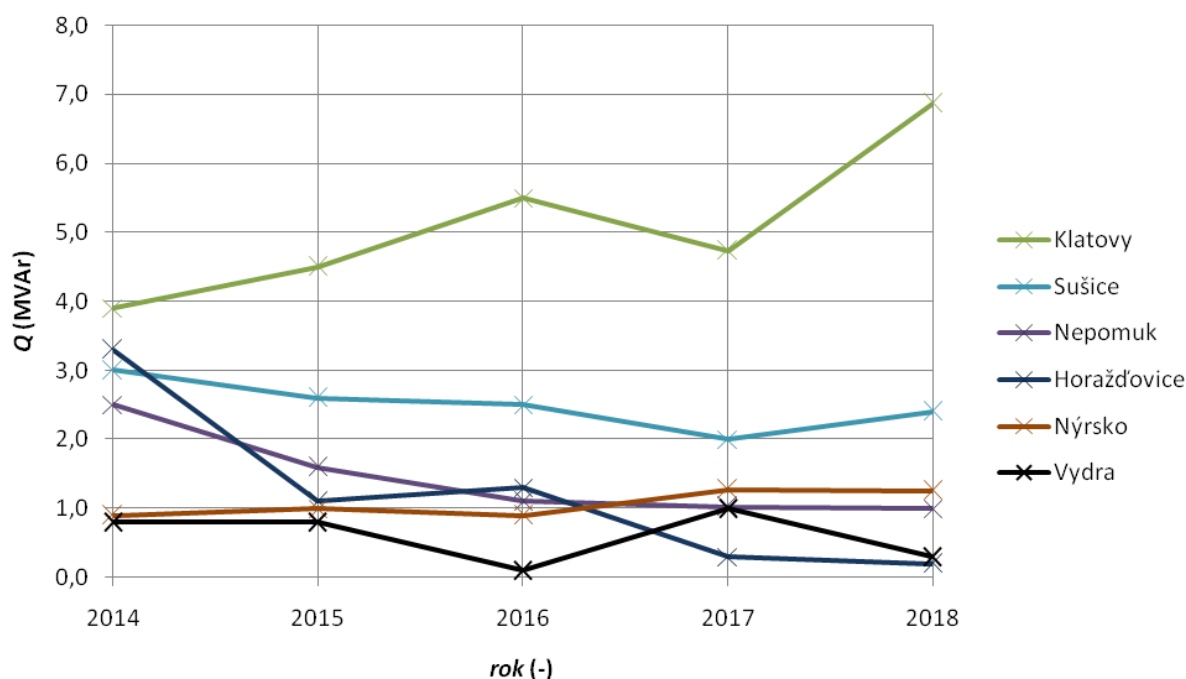
Uzel		Napětí	Činný výkon		Jalový výkon	
Název	Typ	U	P_{odb}	P_{gen}	Q_{odb}	Q_{gen}
–	–	kV	MW	MW	MVAr	MVAr
Vydra	PQ	115,83	0	4	0,3	0,0
Sušice	PQ	115,67	11	0	3,0	0,0
Horažďovice	PQ	115,64	10	0	1,0	0,0
Nepomuk	PQ	116,10	15	0	3,0	0,0
Klatovy	PQ	116,13	40	0	11,0	0,0
Nýrsko	PQ	116,02	8	0	1,3	0,0
63b/63a	PQ	115,79	0	0	0,0	0,0
62a/62b	PQ	115,66	0	0	0,0	0,0
Přeštice	PQ	118,60	0	0	0,0	0,0
PRE_400	PQ	415,30	0	0	0,0	0,0
PRE_220	UD	239,00	0	80	0,0	20,0

4.6 Předpoklad nárůstu zatížení v dané oblasti

Aby bylo možné posuzovat chování dané části distribuční soustavy i v budoucnu, je vhodné provést predikci zatížení. Z dostupných dat a s ohledem na rozsah této diplomové práce, byla provedena pouze jednoduchá lineární extrapolace odebíraného výkonu z minulých let v jednotlivých rozvodnách. Využity jsou hodnoty naměřené ve dni maxima v letech 2014–2018. Vývoj hodnot činného výkonu vidíme v následujícím grafu (obr. 4.2). U všech rozvodn si můžeme povšimnout nepravidelného rostoucího průběhu. Vývoj odebíraného jalového výkonu vidíme na obrázku 4.3. Zde již u některých rozvodn nedává pouhé proložení přímkou smysl, jelikož by došlo ke změně znaménka jalového výkonu. Hodnoty byly tedy získány kvalifikovaným odhadem.



Obr. 4.2 Graf odebíraného činného výkonu v minulosti z jednotlivých rozvodn



Obr. 4.3 Graf odebíraného jalového výkonu v minulosti z jednotlivých rozvodn

V tabulce 4.4 nalezneme parametry rovnic jednotlivých přímk prokládající průběhy odebíraného výkonu v jednotlivých rozvodnách. Obecný tvar znázorňuje rovnice 4.1. Dosazením požadovaného roku a příslušných konstant, získáme předpokládaný odebíraný výkon pro tento rok.

$$P = a \cdot \text{rok} - b \quad (4.1)$$

Kde: P je činný výkon

a a b jsou parametry přímky

rok je letopočet, pro který chceme výpočet provést

Tab. 4.4 Parametry přímk prokládající grafy odebíraných výkonů v rozvodnách

Název rozvodny	a	b	Název rozvodny	a	b
–	–	–	–	–	–
Nepomuk	0,333	660,6	Vydra	0,290	581,5
Horažďovice	0,240	475,7	Klatovy	1,058	2103,0
Sušice	0,710	1418,0	Nýrsko	0,446	892,6

V následující tabulce (tab. 4.5) vidíme hodnoty výkonů, které jsou předpokládány pro roky 2025 a 2030. Jelikož není v žádném z uzlů zadána výroba jalového výkonu, není tato veličina ve zmíněné tabulce zaznamenána.

Tab. 4.5 Parametry v rozvodnách předpokládané pro roky 2025 a 2030

	rok 2025			rok 2030		
Rozvodna	P_{odb}	P_{gen}	Q_{odb}	P_{odb}	P_{gen}	Q_{odb}
	MW	MW	MVAr	MW	MW	MVAr
Vydra	0,00	0,65	0,15	0,80	0,00	0,20
Sušice	19,80	0,00	3,50	23,30	0,00	3,50
Horažďovice	10,30	0,00	0,50	11,00	0,00	0,50
Nepomuk	13,70	0,00	1,00	15,40	0,00	1,00
Klatovy	39,50	0,00	9,80	44,70	0,00	12,5
Nýrsko	10,60	0,00	2,30	12,80	0,00	2,00

4.7 Vyhodnocení kritéria N-1 pro model s aktuálními daty

Toto kritérium je založeno na předpokladu, že je daná elektrizační soustava schopná fungovat i v případě výpadku jednoho, popřípadě více jejích prvků. Nejčastěji se využívá kritéria N-1 (výpadek jednoho prvku). Kupříkladu v jaderných elektrárnách se využívá i přísnějšího kritéria N-2 (odolnost proti výpadku dvou prvků). Obecně tedy můžeme toto kritérium považovat za N-X, kde N znázorňuje všechny prvky soustavy a X počet prvků mimo provoz.

V programu LUG je možné provést toto vyhodnocení pomocí automatického postupného vypínání zvolených prvků a výpočtů parametrů v aktuálním stavu. Můžeme následně zobrazit všechny výsledky, nebo pouze přehled nejhoršího stavu pro každý prvek.

Hodnocenými veličinami jsou zde napětí v uzlech a poměrné zatížení vedení. Přípustná odchylka napětí od jmenovité hodnoty pro DS 110 kV je $\pm 10\%$. Mezními hodnotami jsou tedy 99 kV a 121 kV. Doporučená hodnota poměrného zatížení je v bezporuchovém stavu 50 % a maximální přípustná hodnota při poruše je 100 %. Dodržení těchto hodnot v tabulkách značí zelené zvýraznění, překročení mezí zase zvýraznění červené.

4.7.1 Vyhodnocení kritéria N-1

V následující tabulce (tab. 4.6) nalezneme výsledky pro výpočet proudu, činného i jalového výkonu na začátku (index 1) a na konci (index 2) vedení, ve stavu, kdy je jedno vedení vypnuto. Ve zmíněné tabulce je zapsán vždy nejhorší stav pro dané zkoumané vedení. Míru rizika přetížení vedení nejlépe zachycuje poměrné zatížení ZAT, které je též zapsáno v tabulce.

Tab. 4.6 Vybrané výsledky vyhodnocení kritéria N-1 pro vedení

Zkoumané vedení	Vypnuté vedení	P_1	Q_1	I_1	P_2	Q_2	I_2	ZAT
		MW	MVAr	A	MW	MVAr	A	%
V1264	V1261	-32,430	-7,267	163,732	32,127	6,636	163,845	33,920
V1266	V1265	-8,011	-1,246	40,312	8,002	1,300	40,381	7,340
V1263a	V1261	-17,055	-3,548	87,539	17,021	3,506	87,582	18,130
V1265	V1266	-8,009	-1,246	40,302	8,000	1,300	40,371	7,340
V1263b	V1261	-17,127	-3,636	87,448	17,055	3,548	87,539	18,120
V1262b	V1264	25,162	4,231	129,955	-25,267	-4,431	129,906	26,910
V1262a	V1264	25,086	4,087	129,989	-25,162	-4,231	129,955	26,910
V1261	V1264	32,273	7,001	167,230	-32,524	-7,804	167,078	30,410
V1259	V1258	-49,394	-15,264	254,849	49,047	14,295	256,423	30,890
V1258	V1259	-49,402	-15,264	254,886	49,055	14,296	256,458	30,900
V1214	V1264	-4,000	0,300	20,283	3,994	0,430	20,344	5,620

Obdobný výpočet byl proveden též pro napětí v jednotlivých rozvodnách. V tabulce 4.7 vidíme, v jakém stavu bylo v jednotlivých uzlech napětí nejnižší a kdy nejvyšší. Červeně byl vyznačen největší problém, sice úplná ztráta napětí v rozvodně Vydra.

Tab. 4.7 Napětí v jednotlivých uzlech (rozvodnách) při vyhodnocování kritéria N-1

Název rozvodny	Minimální hodnota napětí		Maximální hodnota napětí	
	Vypnuté vedení	U	Vypnuté vedení	U
		kV		kV
Nepomuk	V1264	111,96	V1263a	116,47
Horažďovice	V1264	112,89	V1266	115,64
Vydra	V1214	0,00	V1262a	115,89
Sušice	V1264	114,01	V1262a	115,73
Přeštice	V1264	117,11	V1262a	117,20
Nýrsko	V1258	114,92	V1261	116,20
Klatovy	V1258	115,03	V1261	116,31

4.7.2 Rozvinuté kritérium N-1 na dvojité vedení

Jelikož jsou v dané části sítě některá vedení umístěna na společných stožárech, může dojít k současnému přerušení obou vedení současně, typicky z důvodu pádu stožáru. Jelikož tedy i podpěrný bod můžeme považovat za jeden prvek, bude v této práci nadále uvažována možnost současného přerušení dvou vedení, která sdílejí společné podpěrné body.

Do scénáře vypínaných vedení byly tedy vloženy pouze ty dvojice vedení, které sdílejí stejné stožáry. Výsledky simulace byly pro nejhorší stav každého vedení zaznamenány v tabulce 4.8. Žlutě je vyznačeno největší poměrné zatížení.

Tab. 4.8 Vybrané výsledky vyhodnocení rozvinutého kritéria N-1

Zkoumané vedení	Vypnutá vedení	P_1	Q_1	I_1	P_2	Q_2	I_2	ZAT
		MW	MVAr	A	MW	MVAr	A	%
V1214	V1259, V1258	-4,00	0,30	22,60	3,99	0,28	22,60	6,24
V1258	V1263a, V1262a	-27,63	-6,78	140,07	27,52	7,27	141,43	17,04
V1259	V1263a, V1262a	-27,61	-6,78	139,96	27,50	7,27	141,32	17,03
V1261	V1259, V1258	-48,75	-14,87	287,71	48,01	12,19	287,87	52,34
V1262a	V1259, V1258	-56,92	-20,36	329,88	56,44	19,20	329,94	68,31
V1262b	V1259, V1258	-56,44	-19,20	329,94	55,76	17,59	330,03	68,33
V1263a	V1259, V1258	-67,58	-22,93	383,26	66,92	21,36	383,33	79,36
V1263b	V1259, V1258	-68,97	-26,24	383,12	67,58	22,93	383,26	79,35
V1264	V1259, V1258	-86,37	-35,01	461,45	83,97	29,24	461,63	95,58
V1265	V1259, V1258	-4,00	-0,60	23,52	4,00	0,65	23,58	4,29
V1266	V1259, V1258	-4,00	-0,60	23,53	4,00	0,65	23,58	4,29

V tabulce 4.9 nalezneme výsledky obdobného výpočtu jako u kritéria N-1, jen s tím rozdílem, že vypnuta je vždy dvojice vedení. Zaznamenány byly opět nejhorší stavy.

Malou výjimkou je rozvodna Nýrsko, pro kterou je evidentně nejhorším stavem výpadek paralelních vedení, která jako jediná zajišťují její napájení. Při jejich přerušení tedy dojde k úplné ztrátě napětí (vyznačeno červeně). V tabulce zůstal zachován i stav při výpadku vedení V1259 a V1258, který způsobuje největší pokles napětí ve všech rozvodnách a právě v rozvodně Nýrsko, je tento pokles největší. Spolu s velmi velkým poklesem napětí v rozvodně Klatovy byla zmíněná napětí v tabulce 4.9 zvýrazněna žlutě, jelikož se napětí velmi blíží k minimální dovolené mezi.

Tab. 4.9 Napětí v jednotlivých uzlech při vyhodnocování rozvinutého kritéria N-1

Název rozvodny	Minimální hodnota napětí		Maximální hodnota napětí	
	Vypnutá vedení	U	Vypnutá vedení	U
		kV		kV
Klatovy	V1259, V1258	99,34	V1266, V1265	116,30
Nepomuk	V1259, V1258	111,20	V1263a, V1262a	116,54
Nýrsko	V1259, V1258	99,22	V1261, V1214	116,17
Nýrsko	V1265, V1266	0,00	–	–
Přeštice	V1259, V1258	116,60	V1266, V1265	117,26
Sušice	V1259, V1258	102,28	V1266, V1265	115,82
Vydra	V1259, V1258	102,46	V1266, V1265	115,99
Horažďovice	V1259, V1258	105,81	V1266, V1265	115,77

4.8 Vyhodnocení kritéria N-1 pro zatížení očekávané v budoucnu

V následujících tabulkách (tab. 4.10 a tab. 4.11) vidíme, že při nárůstu zatížení, které můžeme v budoucnu předpokládat, již dochází k přetížení některých vedení a k poklesům napětí pod dovolenou mez. Tyto nežádoucí stavy jsou ve zmíněných tabulkách zvýrazněny červeně.

V tabulce 4.11 dále vidíme pokles napětí v napájecí rozvodně Přeštice, vlivem vyššího zatížení. Přepnutím odbočky transformátoru a souvisejícím zvýšením napětí až k maximální dovolené hranici 121 kV by bylo možné některá uvedená podpětí vykompenzovat. S touto skutečností je nutné počítat, pokud by v dalších částech práce měla být přijata jiná (nákladná) opatření pro udržení velikosti napětí.

Tab. 4.10 Poměrná zatížení vedení při vyhodnocení kritéria N-1

Vedení	rok 2025		rok 2030		Vypnutá vedení
	ZAT_N	ZAT_{N-1}	ZAT_N	ZAT_{N-1}	
–	%	%	%	%	–
V1264	28,71	109,35	32,73	132,43	V1259, V1258
V1263a	14,55	95,04	16,83	116,31	V1259, V1258
V1263b	14,55	95,03	16,83	116,30	V1259, V1258
V1262b	3,89	83,63	5,40	103,76	V1259, V1258
V1262a	3,89	83,61	5,40	103,74	V1259, V1258
V1261	11,23	56,58	13,15	69,63	V1259, V1258
V1259	19,24	35,05	22,32	40,73	V1258
V1258	19,26	35,05	22,34	40,73	V1259
V1266	4,89	9,80	5,88	11,78	V1265
V1265	4,89	9,80	5,88	11,78	V1266
V1214	5,56	6,42	5,57	6,76	V1259, V1258

Tab. 4.11 Napětí v rozvodnách při vyhodnocení kritéria N-1

Rozvodna	2025		2030		Vypnutá vedení
	U_N	U_{N-1}	U_N	U_{N-1}	
–	kV	kV	kV	kV	–
Nýrsko	115,83	95,99	115,46	90,01	V1259, V1258
Klatovy	115,99	96,18	115,63	90,22	V1259, V1258
Sušice	115,40	99,47	114,98	94,41	V1259, V1258
Vydra	115,56	99,65	115,14	94,60	V1259, V1258
Horažďovice	115,52	103,75	115,15	99,83	V1259, V1258
Nepomuk	116,14	110,22	115,86	108,06	V1259, V1258
Přeštice	117,09	116,05	116,89	115,42	V1259, V1258

4.9 Závěry plynoucí z vyhodnocení kritéria N-1

I když u kritéria N-1 došlo ke značnému nárůstu zatížení jednotlivých vedení, z důvodu nízkého výchozího zatížení nepřesáhlo žádné vedení přibližně třetinové hodnoty své dovolené meze – tedy 100 % poměrného zatížení. Tato mez platí pro stav mimořádný. V bezporuchovém stavu je doporučeno zatěžovat vedení pouze do 50 %.

Napětí v rozvodnách na napěťové hladině 110 kV by se mělo pohybovat v rozmezí ± 10 % od jmenovité hodnoty. Tato podmínka je při jednom vypnutém vedení vždy bez obtíží splněna. Jedinou výjimku tvoří rozvodna Vydra, která při výpadku vedení V1214 přichází zcela o napájení.

U rozvinutého kritéria N-1, kdy jsou vypínána dvě vzájemně závislá vedení, jsou změny již podstatnější. Největší riziko přetížení vedení i nebezpečí podpětí vzniká v případě vypnutí paralelních vedení V1259 a V1258. Nejvíce je v tomto případě zatíženo vedení V1264, a to na více než 95 %. Největší nebezpečí podpětí je při tomto stavu v rozvodnách Klatovy a Nýrsko, kde napětí klesá až ke spodní mezi dovolené tolerance 99 kV. Tento pokles by bylo možné ještě zmírnit přepnutím odbočky transformátoru v rozvodně Přeštice. Tím by došlo k nárůstu napětí v celé části sítě, kterou tato rozvodna napájí. Další možností je dodávka jalového výkonu do zmíněných uzlů. Bylo by však nutné zajistit dostatečně výkonné zdroje přímo v této oblasti. Jediným významnějším zdrojem v celé oblasti je elektrárna Vydra, která však nemá dostatečnou regulační schopnost.

Nesmíme zapomenout na celkově nejhorší stav při vypnutí dvou závislých vedení. Tím je vypnutí vedení V1265, V1266, kdy se rozvodna Nýrsko ocitá zcela bez napájení.

Po navýšení odebíraného výkonu, který můžeme předpokládat v budoucnu, se zmíněné problémy dále zvýšily. Nejvíce je přetěžováno vedení V1264, a to již v případě předpokládaného zatížení v roce 2025.

5 NÁVRH MOŽNÝCH ŘEŠENÍ ZJIŠTĚNÝCH PROBLÉMŮ

V předchozí kapitole jsme pomocí výpočtového programu zjistili, že některá vedení by bylo vhodné posílit. Též by bylo vhodné přijmout opatření ke snížení úbytku napětí na trasách k rozvodnám Klatovy a Nýrsko, včetně řešení úplného výpadku napájení v rozvodně Nýrsko při přerušení dvojitého vedení V1265, V1266. Nakonec je potřeba zvážit možnosti zvýšení zabezpečení napájení rozvodny Vydra, která se nachází na jednoduchém paprsku. Avšak v důsledku jejího umístění v národním parku, není výstavba nových vedení téměř možná.

V této kapitole budou navrženy a podrobněji popsány různé varianty pro zlepšení stavu DS.

Navrhované varianty jsou:

- Navýšení průřezu
(postupné navyšování průřezu, tak aby žádná vedení nebyla přetížena)
- Zdvojení vedení
(náhrada jednoduchých vedení dvojitými, tam kde hrozí jejich přetížení)
- Vedení z DS E.ON
(nové vedení spojující DS různých provozovatelů)
- Vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko
(nové vedení spojující doposud odděleně provozované části DS)
- Vedení Klatovy–Vydra
(zdvojení vedení k rozvodně Vydra)

Mimo jiné, bude u navržených variant hodnocena ekonomická náročnost, která bude jedním z hlavních kritérií pro následné přijetí, nebo zamítnutí každé varianty. Výpočet ekonomické náročnosti bude vycházet z jednotné metodiky:

Ekonomické zhodnocení v této práci vychází přímo z tabulkových hodnot poskytnutých zadavatelem. Jedná se o investiční výdaje, tzv. CAPEX (Capital Expenditures). Použity jsou vždy měrné výdaje na kilometr konkrétního typu vedení. Celková cena se skládá z nákladů na odstranění starého vedení a následnou výstavbu vedení nového, s ohledem na nutnost výměny podpěrných bodů, nebo pouhé výměny vodivých lan a izolátorových závěsů. Izolátory je nutné při zvyšování průřezu lan též vyměnit, především z důvodu vyšší hmotnosti těchto lan a z důvodu vyššího namáhání v důsledku větru a námrazy u vyšších průřezů.

5.1 Navýšení průřezu

Nejjednodušší variantou, která umožňuje přenášet po vedení vyšší výkon, je výměna použitých vodivých lan za lana s vyšším průřezem. V distribuční soustavě na napětíové hladině 110 kV, se běžně setkáme s těmito jmenovitými průřezy: 185, 240, 350 a 450 mm² (jedná se o zaokrouhlené průřezy hliníkového pláště). Nyní bude provedena simulace ustáleného chodu dané části DS v nejhorším zjištěném stavu z předchozí kapitoly, resp. s vypnutým dvojitým vedením V1259, V1258. Pro předpokládaná zatížení v letech 2025 a 2030 bude postupně navyšován průřez inkriminovaných vedení, dokud při vyhodnocení kritéria N-1 neklesne jejich poměrné zatížení pod 100 %.

5.1.1 Navýšení průřezu pro předpokládané zatížení v roce 2025

Jediným přetěžovaným vedením pro předpokládané zatížení v roce 2025 je V1264. Aktuálně použitým lanem je 185AlFe. V počítačovém modelu jej tedy nahradíme nejbližším vyšším běžným průřezem – 240AlFe. Výsledek simulace vidíme v následující tabulce (tab. 5.1).

Tab. 5.1 Předpokládané zatížení pro rok 2025 – V1264 s lany 3×240AlFe

Vedení	ZAT	Uzel	U
–	%	–	kV
V1264	91,90	Vydra	104,09
V1263b	90,80	Sušice	103,92
V1263a	90,80	Horažďovice	107,97
V1262a	79,80	Nepomuk	114,08
V1262b	79,80	Klatovy	100,79
V1261	54,00	Nýrsko	100,61
V1266	5,60	Přeštice	118,75
V1265	5,60	63b/63a	109,89
V1258	Vypnuto	62a/62b	106,24
V1259	Vypnuto	PRE_400	417,28
V1214	5,56	PRE_220	239,00

Z tabulky 5.1 je patrné, že již tato úprava průřezu zabráni přetížení vedení i poklesu napětí pod přípustnou mez.

5.1.2 Navýšení průřezu pro předpokládané zatížení v roce 2030

Obdobnou simulaci jako u předpokládaného zatížení pro rok 2025 provedeme i pro rok 2030. Jednotlivé kroky v bodech:

1. V1264 posíleno na 3×240AlFe – přetížena vedení: V1264 (110,5 %) a V1263 (110,2 %)
2. V1264 posíleno na 3×350AlFe – přetížena vedení: V1263 (112,8 %) a V1262 (100,5 %)
3. V1262 a V1263 posílena na 3×240AlFe – přetíženo vedení V1263 (103,2 %)
4. V1263 posíleno na 3×350AlFe – žádné vedení není přetíženo

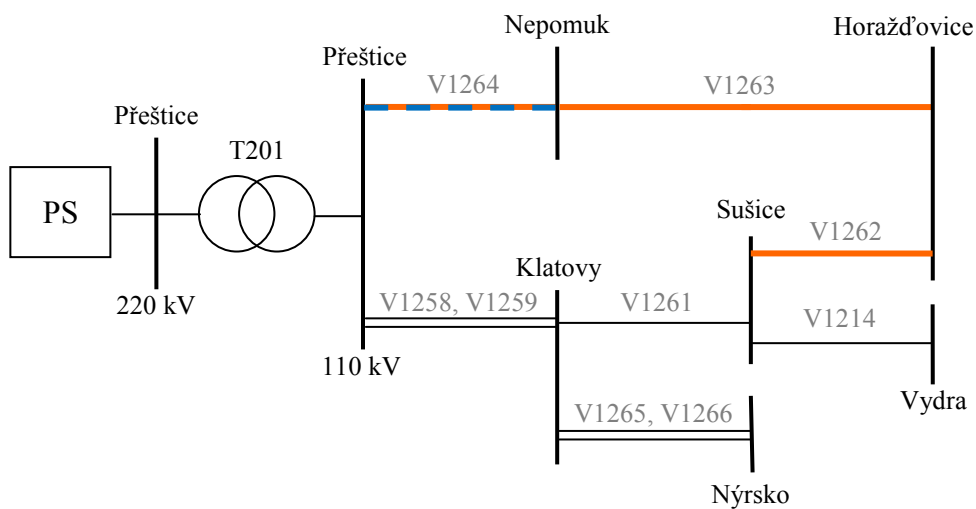
Výsledkem je vedení V1264 s lany 3×350AlFe, V1263 s 3×350AlFe a V1262 s 3×240AlFe.

Hodnoty poměrného zatížení vedení a napětí v uzlech, pro výsledný návrh a nejhorší zjištěný stav (V1258, V1259 vypnuto), obsahuje následující tabulka (tab. 5.2), ze které je patrné, že napětí a poměrná zatížení jsou v přijatelných mezích.

Tab. 5.2 Předpokládané zatížení pro rok 2030 – V1262, V1263 a V1264 posílána

Vedení	ZAT	Uzel	U
–	%	–	kV
V1264	80,10	Vydra	104,27
V1263b	70,00	Sušice	104,09
V1263a	70,00	Horažďovice	107,89
V1262a	82,00	Nepomuk	113,49
V1262b	82,10	Klatovy	100,38
V1261	62,60	Nýrsko	100,19
V1266	6,80	Přeštice	118,87
V1265	6,80	63b/63a	109,63
V1258	Vypnuto	62a/62b	106,27
V1259	Vypnuto	PRE_400	417,70
V1214	5,57	PRE_220	239,00

Celkovou navrhovanou změnu průřezů vedení vidíme na obrázku 5.1. Vedení označené modře je posíláno pro předpokládané zatížení v roce 2025 a vedení označená oranžově jsou posílána pro předpokládané zatížení v roce 2030. Nakonec je patrné, že pro rok 2025 není potřeba mnoho úprav a do té doby je možné realizovat některou z dalších variant pro zlepšení zatížitelnosti, kterými se zabývají následující podkapitoly.



Obr. 5.1 Liniové schéma s posílenými vedeními (modře – rok 2025, oranžově – rok 2030)

5.1.3 Ekonomické zhodnocení varianty

V návrhu jsou obsaženy změny průřezu lan ze 185 mm² na 240 mm² a 350 mm². U první zmíněné změny (ze 185 mm² na 240 mm²) je možné využít stávajících podpěrných bodů. V případě změny až na 350 mm² je již nutná výměna podpěrných bodů z důvodu jejich vyššího zatížení. Tato skutečnost nepříznivě ovlivní náklady na realizaci změn pro předpokládané zatížení v roce 2030.

V následujícím výčtu vidíme jednotlivé položky ekonomického hodnocení navyšování průřezu. Použita byla metodika popsána v úvodu této kapitoly. Varianty pro jednotlivé roky jsou uvažovány odděleně a výběr mezi nimi bude proveden až při tvorbě celkového zapojení DS.

Předpokládané zatížení v roce 2025

• délka vedení:	24,09 km
• demontáž stávajících lan 3×185AlFe:	3,6 mil. Kč
• instalace navrhovaných lan 3×240AlFe:	10,8 mil. Kč
• celkem:	14,4 mil. Kč

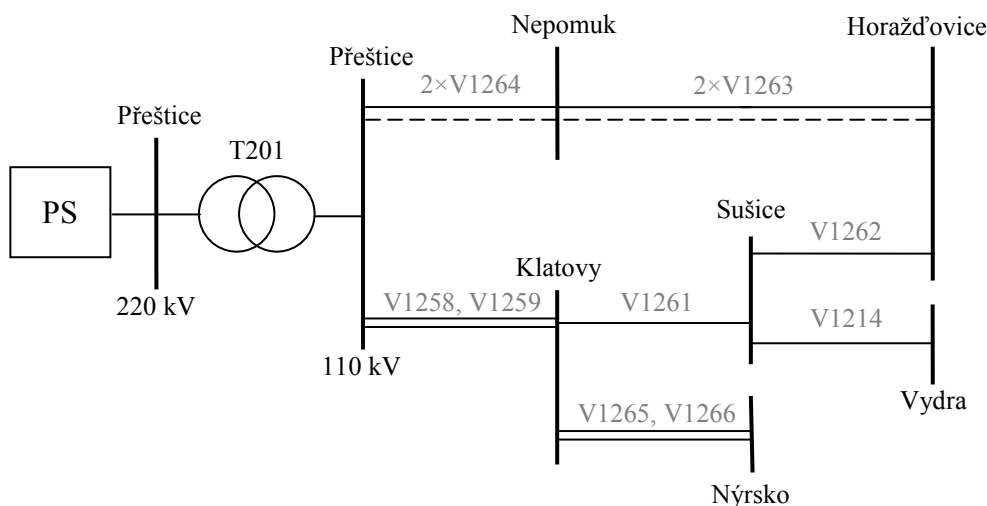
Předpokládané zatížení v roce 2030

• délka vedení pro výměnu stávajících lan:	22,9 km
• demontáž stávajících lan 3×185AlFe:	3,44 mil. Kč
• instalace navrhovaných lan 3×240AlFe:	10,30 mil. Kč
• délka vedení pro kompletní výměnu:	53,8 km
• demontáž stávajícího vedení:	67,30 mil. Kč
• realizace navrhovaného vedení s lany 3×350AlFe:	480,10 mil. Kč
• celkem:	561,10 mil. Kč

Předešlý výčet prokázal několikanásobnou nákladnost návrhu s předpokládaným zatížením pro rok 2030, oproti tomu pro rok 2025. Bylo by tedy vhodné realizovat pouze méně nákladné řešení, jehož časová náročnost je též menší. Tím by se vyřešil problém do doby, než by mohlo být realizováno některé z náročnějších řešení, popisované dále v této práci, které by mohlo být přijato i z jiných důvodů.

5.2 Zdvojení vedení

Jelikož jsou inkriminovaná vedení jednoduchá, je možné je posílit náhradou za vedení dvojí. Nevýhodou je nutnost vyměnit kromě lan také podpěrné body. Výhodou je kromě vyšší zatížitelnosti též vyšší zabezpečení dodávky elektrické energie. Aby se v dané části DS využily obě zmíněné výhody současně, je vhodné rovnou zdvojit kromě vedení V1264 i vedení V1263, čímž bude rozvodna Horažďovice plnohodnotně napájena ze dvou stran – všechna vedení zaústěná do rozvodny již nebudou sdílet společné podpěrné body. Názorně je tato skutečnost vidět na obrázku 5.2.



Obr. 5.2 Liniové schéma se zdvojenými vedeními (čárkovaně – nová vedení)

Jelikož došlo ke značnému posílení vedení, bude rovnou uvažováno předpokládané zatížení pro rok 2030. Pro simulaci jsou u nových vedení použita stejná lana, jako mají stávající vedení, tedy 185AlFe. Výsledky, opět pro nejhorší zjištěný stav, vidíme v tabulce 5.3. Z té je patrné, že sledovaná napětí i poměrná zatížení jsou v předepsaných mezích.

Tab. 5.3 Předpokládané zatížení pro rok 2030 – V1264 a V1263 zdvojena

Vedení	ZAT	Uzel	U
–	%	–	kV
2× V1264	62,70	Vydra	106,40
2× V1263b	54,90	Sušice	106,56
2× V1263a	54,90	Horažďovice	111,54
V1262a	98,50	Nepomuk	115,20
V1262b	98,50	Klatovy	102,97
V1261	61,00	Nýrsko	102,79
V1266	6,60	Přestice	118,57
V1265	6,60	63b/63a	112,70
V1258	Vypnuto	62a/62b	109,43
V1259	Vypnuto	PRE_400	417,70
V1214	4,70	PRE_220	239,00

5.2.1 Ekonomické zhodnocení varianty

Níže vidíme v bodech ekonomické hodnocení zdvojování vedení, podle metodiky popsané v úvodu této kapitoly.

- celková délka vedení: 53,8 km
- demontáž stávajících jednoduchých vedení: 67,3 mil. Kč
- zbudování navrhovaných dvojitých vedení: 507,8 mil. Kč
- celkem:** **575,1 mil. Kč**

Díky ekonomickému hodnocení bylo zjištěno, že pouhá výměna lan z předchozí části (5.1), je alespoň desetkrát levnější (záleží na konkrétní variantě), oproti zdvojení vedení.

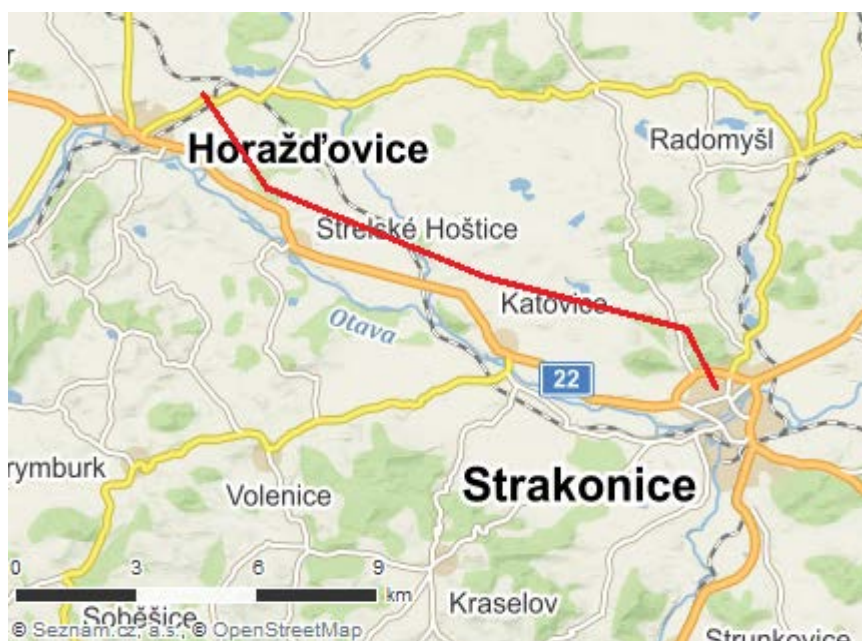
5.3 Vedení z DS E.ON

Dalším řešením pro napájení rozvodny Horažďovice z více stran je vybudování nového vedení z rozvodny Strakonice, která spadá do DS E.ON Distribuce, a. s. Vedení 110 kV propojující distribuční soustavy různých provozovatelů již existují, avšak jejich budování doprovází další různé problémy (kromě samotného budování zcela nového vedení).

Především to jsou:

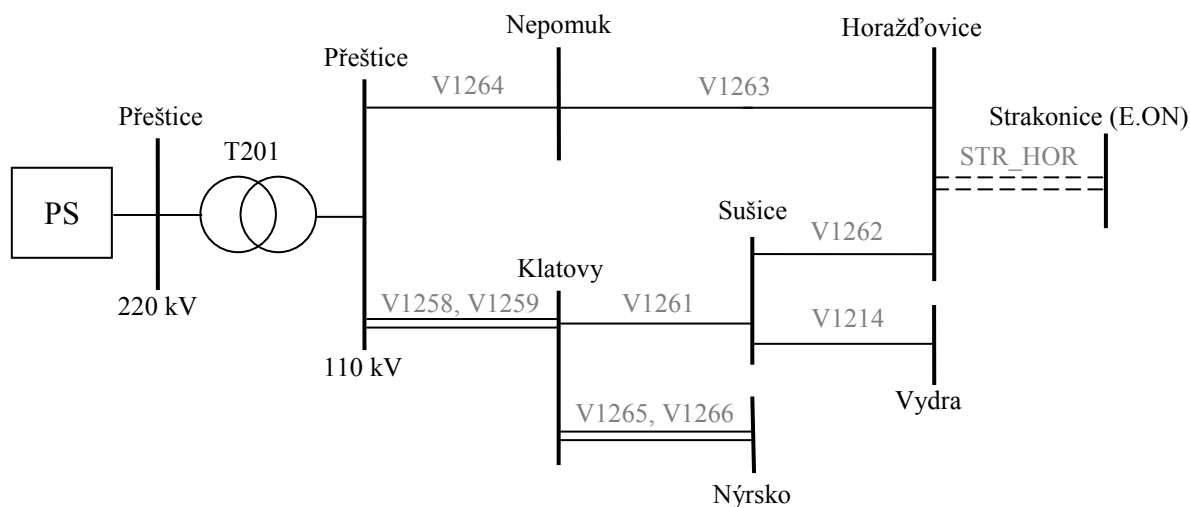
- potřeba oddělit sekundární strany transformátorů na rozhraní PS/DS – nejlépe zavést v dotčených rozvodnách dvojité systém přípojníc a zachovat oddělené provozování oblastí
- nutnost zahrnout do počítačového modelu i část DS E.ON
- neznalost parametrů DS E.ON v rámci této práce
- instalace fakturačního měření na hranici mezi distribučními soustavami
- smluvní a finanční ujednání mezi provozovateli

Kromě nevýhod nabízí toto řešení zásadní zlepšení zabezpečení dodávky elektrické energie pro oba provozovatele DS. Díky tomu by se i náklady na realizaci tohoto vedení s nejvyšší pravděpodobností rozdělily mezi jednotlivé společnosti.



Obr. 5.3 Situační náčrt vedení z DS E.ON [5]

Možnou trasu pro nové vedení vidíme na obrázku 5.3. Celková délka trasy činí přibližně 16 km. Připojení navrhovaného vedení STR_HOR (Strakonice–Horažďovice) do DS vidíme znázorněno čárkovaně v liniovém schématu na obrázku 5.4. Jelikož se v současnosti nová vedení staví většinou rovnou jako dvojítá, vidíme tuto skutečnost též ve zmíněném schématu. Jako vhodný průřez lan můžeme očekávat 240AlFe, i když bez možnosti simulace, z důvodu neznalosti parametrů DS E.ON v rámci této práce, se jedná pouze o předpoklad.



Obr. 5.4 Liniové schéma s navrhovaným vedením z DS E.ON (čárkovaně)

5.3.1 Ekonomické zhodnocení varianty

Předpokládanou finanční náročnost výstavby vedení mezi rozvodnami Strakonice a Horažďovice vidíme dále v bodech:

- délka navrhovaného vedení: 16 km
- zbudování navrhovaného vedení (6×240AlFe): 150,9 mil. Kč
- celkem: **150,9 mil. Kč**

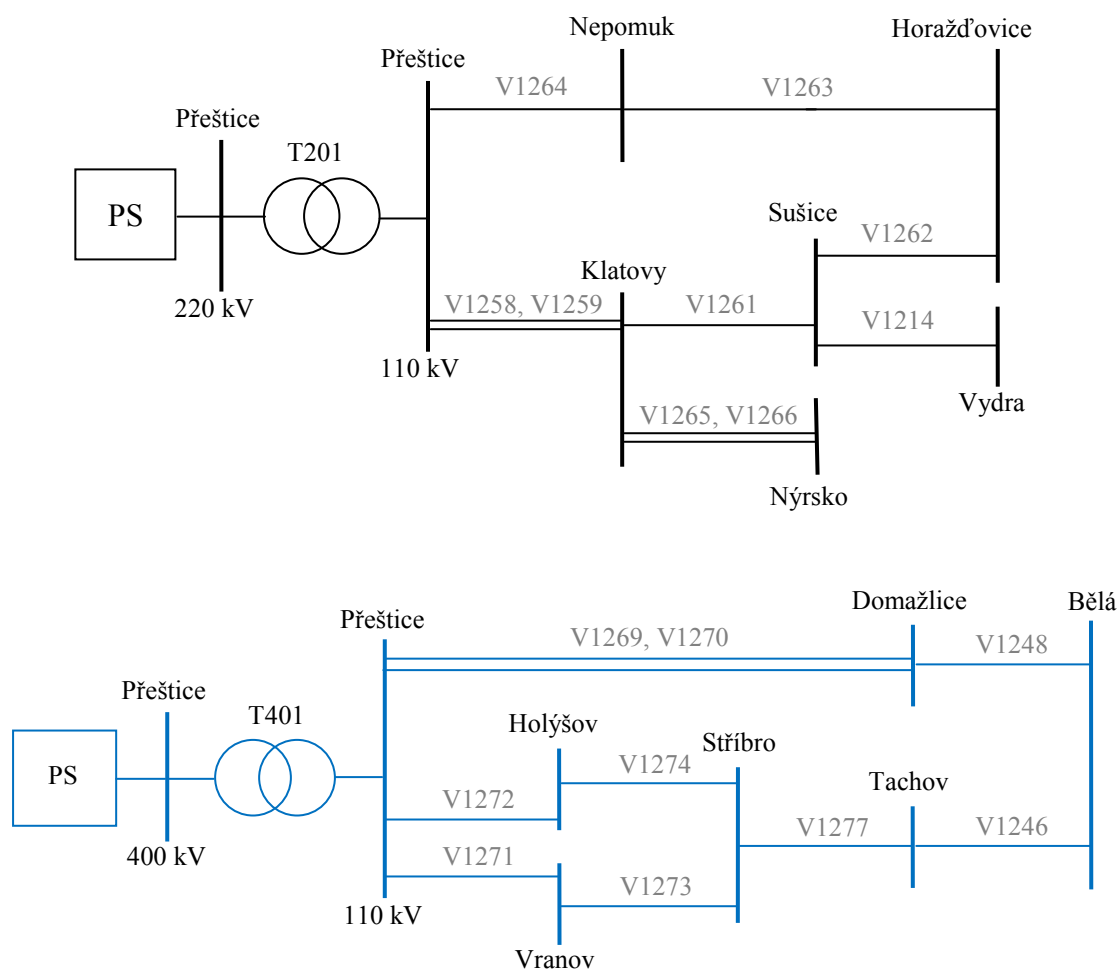
Z celkové sumy a z nahlédnutí do ocenění předchozích variant vyplývá, že posílit potřebná vedení a zabezpečení dodávky pro Horažďovice řešit novým vedením ze Strakonice, vychází více než dvakrát levněji, oproti variantě dvojitého vedení, která řeší stejné problémy. Nesmíme však zapomenout na další nevyčíslené náklady spojené s propojováním soustav různých provozovatelů, ale naopak také na zmíněnou dělbu nákladů mezi obě společnosti.

5.4 Vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko

Toto řešení se jeví výhodně hlavně proto, že může vyřešit více problémů současně. Především řeší nebezpečí ztráty napětí v rozvodně Nýrsko. Dále může přispět (v dříve popsáných problémových stavech) ke snížení zátěže pro jiná vedení – primárně V1264. Nakonec by toto vedení mohlo zlepšit napěťové poměry v této části sítě. Tyto předpoklady je nutné vyhodnotit v rozšířeném počítačovém modelu, který bude zahrnovat obě, doposud odděleně provozované části soustavy. Pro lepší orientaci pojmenujme oblasti jako *Klatovská* (oblast, kterou se tato práce primárně zabývá) a *Domažlická* – podle okresů, kam tyto části DS většinou spadají.

5.4.1 Domažlická část DS

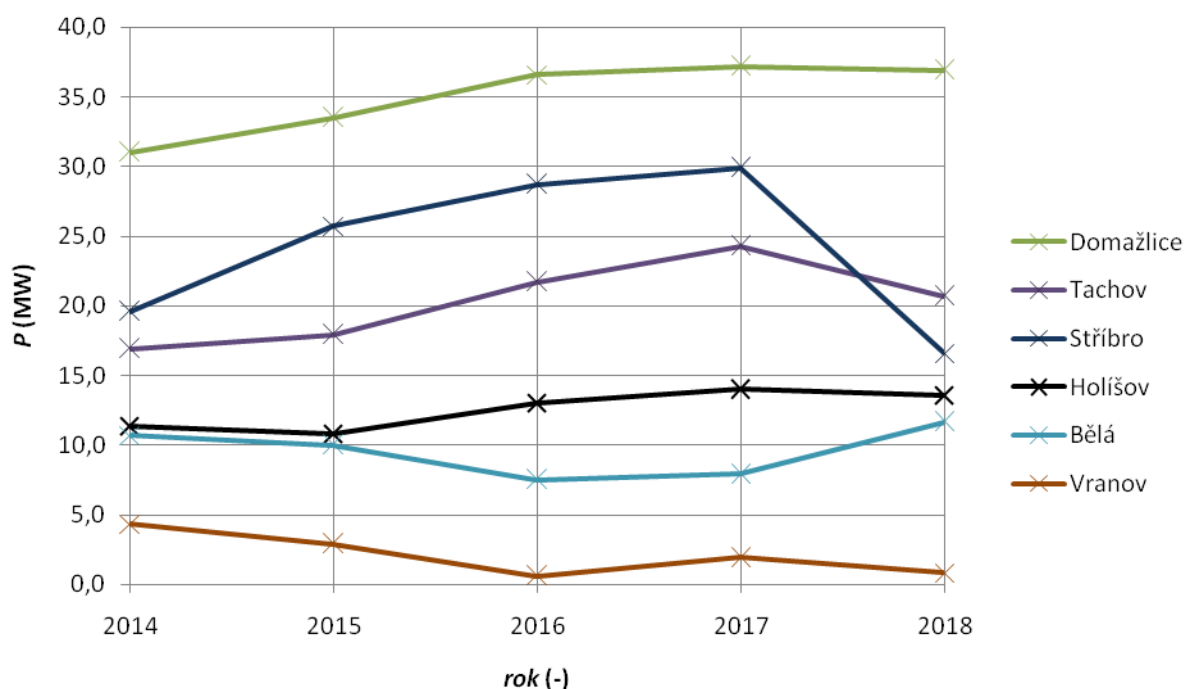
Domažlickou část DS tvoří šest rozvodů 110 kV: Domažlice, Bělá, Tachov, Stříbro, Vranov a Holýšov. Její liniové schéma vidíme zvýrazněné modře na obrázku 5.5 dole. V horní části tohoto obrázku vidíme oblast *Klatovskou* (černě). Dále v této podkapitole bude navrženo vedení, které propojí tyto oblasti. Jelikož se jedná o současný stav, rozvodna Kdyně se v něm ještě nenachází.



Obr. 5.5 Liniové schéma analyzované části DS
(černě – oblast Klatovská; modře – oblast Domažlická)

Jak si můžeme ve schématu povšimnout, napájecí rozvodnou připojenou do PS je opět rozvodna Přeštice. Napájení je však realizováno z přípojnice napojené na sekundární stranu transformátoru T401 (400/110 kV). Odlišnou od ostatních je rozvodna Tachov. Ta je vybavena dvojitým systémem přípojníc, díky čemuž je tato část DS provozně oddělena od navazující části DS napájené z rozvodny Vítkov.

Jelikož jde v této variantě především o propojení *Domažlické* a *Klatovské* oblasti, jejíž realizace zabere řadu let, budeme vycházet rovnou z očekávaných hodnot odebíraného výkonu v roce 2030. Odebírané činné výkony z jednotlivých rozvodů v letech 2014–2018 vidíme v grafu na obrázku 5.6.



Obr. 5.6 Vývoj odběru činných výkonů z jednotlivých rozvodů v letech 2014–2018

Lineárním proložení průběhů v grafu na obrázku 5.6, získáme rovnice přímek. Jejich parametry nalezneme v tabulce 5.4 a obecný tvar znázorňuje rovnice 4.1. Dosazením požadovaného roku 2030 do těchto rovnic, obdržíme předpokládané činné výkony. Ty obsahuje tabulka 5.5. Hodnoty jalového výkonu byly opět získány kvalifikovaným odhadem.

Tab. 5.4 Parametry přímek prokládající grafy odebíraných výkonů v rozvodnách

Název rozvodny	a	b	Název rozvodny	a	b
–	–	–	–	–	–
Domažlice	1,550	3 089,0	Stříbro	-0,180	-386,9
Bělá	-0,024	-57,93	Vranov	-0,806	-1 627,0
Tachov	1,400	2 802,0	Holíšov	0,767	1 533,0

Tab. 5.5 Předpokládané parametry v uzlech v roce 2030

Uzel		Napětí	Odebíraný výkon	
Název	Typ	U	P_{odb}	Q_{odb}
–	–	kV	MW	MVAr
Domažlice	PQ	115,83	28,00	3,50
Bělá	PQ	115,67	11,65	1,90
Tachov	PQ	115,64	20,80	3,18
Stříbro	PQ	116,10	29,32	3,99
Vranov	PQ	116,13	0,86	0,15
Holýšov	PQ	116,02	13,68	3,11
Přeštice	PQ	120,60	0,00	0,00
PRE_400	UD	416,00	0,00	0,00
PRE_220	PQ	239,00	0,00	0,00

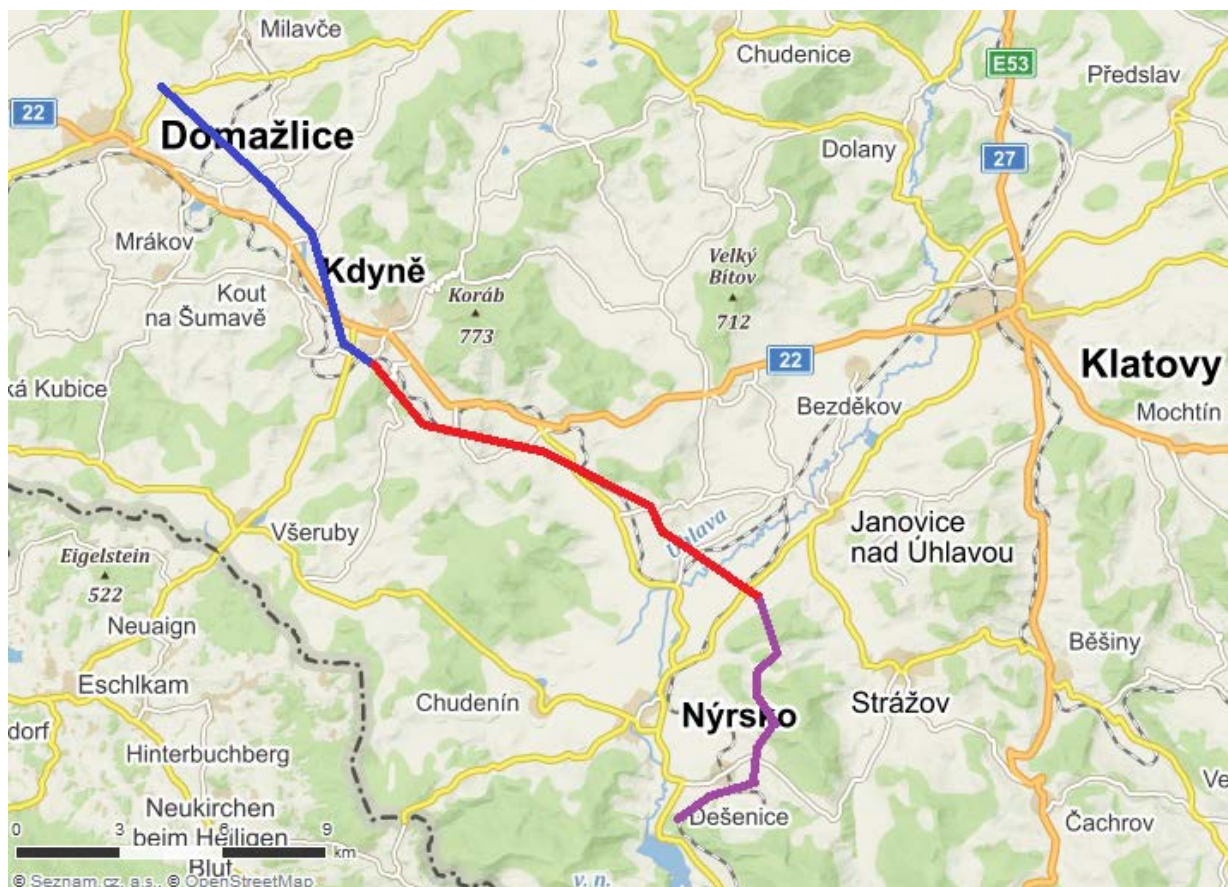
Posledním potřebným vstupem pro počítačový model, jsou parametry vedení, které obsahuje tabulka 5.6. Můžeme si povšimnout, že některá vedení jsou rozdělena na délkové úseky s odlišnými parametry. To je nutné též do modelu zahrnout.

Tab. 5.6 Parametry vedení v Domažlické části DS

Jméno	Typová tabulka	Vodič	l	U_n	R	X	B	R_0/R_1	X_0/X_1	I_{max}
–	–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	–	–	A
V1246	1V_240AlFe_185_B	3×240AlFe	29,100	110	2,9100	10,8787	10,0395	3,5	3,5	550
V1248	1V_240AlFe_185_B	3×240AlFe	25,250	110	2,5250	9,4395	8,7113	3,5	3,5	550
V1269	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	33,730	110	5,2619	12,8621	11,1839	3,5	3,5	483
V1270	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	33,730	110	5,2619	12,8621	11,1839	3,5	3,5	483
V1271	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	33,730	110	5,2619	12,8621	11,1839	3,5	3,5	483
V1272a	1V_240AlFe_185_DS	3×240AlFe6	4,600	110	0,5750	1,8662	13,1036	3,5	3,5	572
V1272b	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	15,200	110	2,3712	5,7962	5,0399	3,5	3,5	483
V1273	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	3,901	110	0,6086	1,4876	1,2935	3,5	3,5	483
V1274a	1V_240AlFe_185_DS	3×240AlFe6	4,600	110	0,5750	1,8662	13,1036	3,5	3,5	572
V1274b	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	19,800	110	3,0888	7,5503	6,5651	3,5	3,5	483
V1277a	1V_185AlFe_50_DS	3×185AlFe6	6,567	110	1,0258	2,7292	18,2412	5,0	5,0	483
V1277b	1V_185AlFe_50_JT	3×185AlFe6	22,200	110	3,4676	9,0310	62,2155	3,0	3,0	483
V1277c	1V_185AlFe_185_JD	3×185AlFe	2,445	110	0,3814	0,9323	0,8107	3,5	3,5	483

5.4.2 Realizace vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko

První část vedení mezi rozvodnami Domažlice a Kdyně již existuje. Jde o vedení vvn, které je v současnosti provozováno na hladině vn. Jeho využití, nebo využití alespoň jeho stávající trasy, podstatně sníží náročnost tohoto řešení. V situačním nákresu na obrázku 5.7 je toto vedení zakresleno modře. Červeně na zmíněném obrázku vidíme část zcela nového vedení a fialově část nového vedení ve společné trase s již existujícím vedením z Klatov do Nýrska (V1265, V1266).



Obr. 5.7 Situační nákres vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko [6]

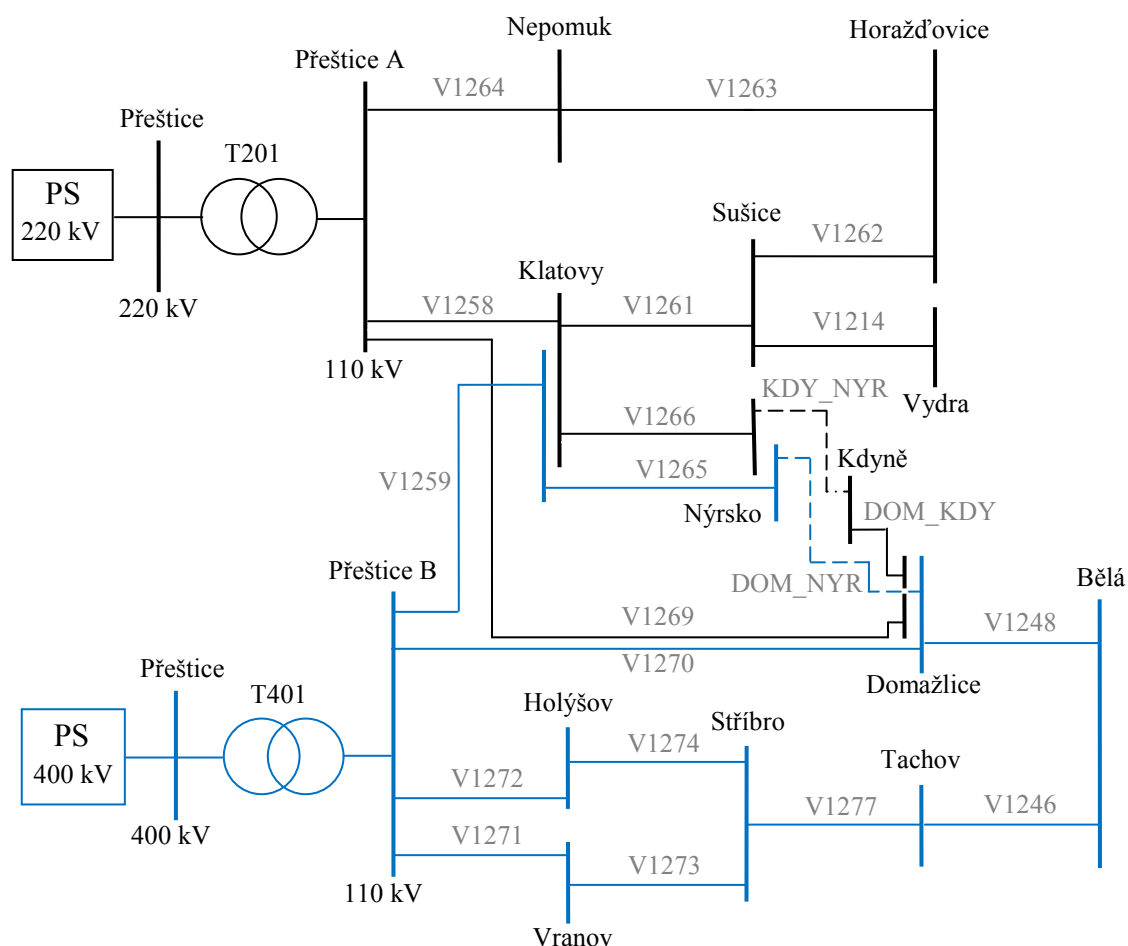
Dále je potřeba vybudovat novou rozvodnu v lokalitě Kdyně. Půjde o rozvodnu 110 kV a současně transformovnu 110/22 kV, ze které bude napájena část DS vn, která je v současnosti napájena z Domažlic.

V následujícím liniovém schématu (obr. 5.8) vidíme propojení *Klatovské* (ve schématu černě) a *Domažlické* (ve schématu modře) oblasti pomocí navrhovaných vedení (čárkovaně). Jelikož je každá oblast napájena z jiného transformátoru, je i nadále vhodné zachovat jejich oddělené provozování. Toho je v návrhu dosaženo zbudováním dvojitého systému přípojníc v rozvodnách Klatovy, Nýrsko a Domažlice. Dalším opatřením byl návrh nového vedení jako dvojitého – jednoho pro každou část. Toto vedení se skládá ze tří částí:

- DOM_KDY – mezi rozvodnou Domažlice a navrhovanou rozvodnou Kdyně
- KDY_NYR – mezi rozvodnami Kdyně a Nýrsko
- DOM_NYR – mezi rozvodnami Domažlice a Nýrsko bez zaústění do Kdyně

Parametry navrhovaných vedení obsahuje tabulka 5.7. Tyto parametry byly získány přepočtením parametrů stejného typu vedení (stejný průřez a typ podpěrného bodu) na požadovanou délku vedení navrhovaných.

Nakonec návrh obsahuje přepojení vedení V1259 z přípojnice označené ve schématu jako *Přeštice A* na přípojnici *Přeštice B* a vedení V1269 z *Přeštice B* na *Přeštice A*. Resp. se jedná o vzájemnou výměnu zmíněných vedení mezi přípojnícemi.



Obr. 5.8 Liniové schéma vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko propojujícího dvě části DS (čárkovaně – nová vedení; černě – oblast Klatovská; modře – oblast Domažlická)

Tab. 5.7 Parametry navrhovaných vedení na trase Domažlice–Kdyně–Nýrsko

Jméno	Vodič	l	U_n	R	X	B	R_0/R_1	X_0/X_1	I_{max}
–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	–	–	A
DOM_KDY	3×185AlFe	10,50	110	1,638	4,004	3,482	3,5	3,5	483
KDY_NYR	3×185AlFe	22,28	110	3,476	8,496	7,388	3,5	3,5	483
DOM_NYR	3×185AlFe	32,78	110	5,114	12,500	10,780	3,5	3,5	483

V tabulce níže (tab. 5.8) nalezneme výsledky vyhodnocení kritéria N-1 pro vedení i uzly z obou oblastí DS. Z této tabulky je patrné splnění všech sledovaných podmínek. Pro odebírané výkony byly použity hodnoty předpokládané v roce 2030. Římská číslice II, označuje druhou přípojnici v rozvodnách s navrhovaným zdvojením přípojníc.

Tab. 5.8 Vyhodnocení kritéria N-1 – předpokládané zatížení pro rok 2030

Vedení	ZAT_{N-1}	Vypnutá vedení	Uzel	U_{N-1}	Vypnutá vedení
–	%	–	–	kV	–
V1264	38,44	V1258	Vydra	111,08	V1258
V1263b	22,65	V1258	Sušice	111,43	V1258
V1263a	22,65	V1258	Horažďovice	111,84	V1264
V1262a	10,78	V1258	Nepomuk	111,09	V1264
V1262b	10,78	V1258	Klatovy	111,34	V1258
V1261	18,57	V1264	Klatovy II	109,32	V1259
V1266	24,01	V1269	Nýrsko	110,89	V1269
V1265	3,00	V1259	Nýrsko II	111,08	V1259
V1258	28,17	V1269	63b/63a	111,60	V1264
V1259	25,77	V1272a, V1271	62a/62b	112,19	V1258
V1214	10,07	V1258	PRE_400	416,00	V1277a
V1270	28,85	V1272a, V1271	PRE_220	239,00	V1277a
V1248	22,37	V1272a, V1271	PRE_110b	119,05	V1272a, V1271
V1246	14,11	V1272a, V1271	Domažlice	113,02	V1272a, V1271
V1277a	24,90	V1272a, V1271	Domažlice II	106,54	V1269
V1277b	24,89	V1272a, V1271	Tachov	105,09	V1272a, V1271
V1277c	24,86	V1272a, V1271	Stíbro	102,13	V1272a, V1271
V1273	30,74	V1272a	77a/77b	104,45	V1272a, V1271
V1274a	13,47	V1271	77b/77c	102,35	V1272a, V1271
V1274b	15,97	V1271	Vranov	102,11	V1272a, V1271
V1272a	33,95	V1271	Holýšov	101,06	V1272a, V1271
V1272b	40,19	V1271	74a/74b	101,24	V1272a, V1271
V1271	31,79	V1272a	72a/72b	115,17	V1272b
V1269	60,35	V1266	Kdyně	107,67	V1269
DOM_KDY	1,74	V1269	Přeštice	117,31	V1269
KDY_NYR	14,12	V1269	Bělá	108,86	V1272a, V1271
DOM_NYR	3,40	V1259			

5.4.3 Ekonomické zhodnocení varianty

Hrubý výčet investic potřebných pro realizaci této varianty vidíme níže. Použita byla opět metodika popsaná v úvodu této kapitoly.

• délka vedení k demontáži:	10,50 km
• délka navrhovaného vedení:	32,78 km
• demontáž stávajícího vedení:	13,1 mil. Kč
• zbudování navrhovaného vedení (6×185AlFe):	309,3 mil. Kč
• rozvodna 110 kV a transformovna 110/22 kV Kdyně:	200,0 mil. Kč [6]
• celkem:	522,4 mil. Kč

Kromě nákladů spojených s novým vedením, si ve výčtu můžeme povšimnout ceny navrhované rozvodny, v obci Kdyně. Ta nemohla být získána z tabulek CAPEX, proto je rozvodna hodnocena na základě podobného projektu. Jedná se o rozvodnu 110 kV a transformovnu 110/22 kV v Ústí nad Labem. Zdejší investice činila přibližně 200 mil. Kč a jednalo se minimálně o rozvodnu stejného rozsahu. [6]

Další větší investicí je navrhované rozšíření rozvoden Domažlice, Klatovy a Nýrsko na dvojitý systém přípojníc. V daném rozsahu této práce nebylo možné takto konkrétní hodnotu investice stanovit.

5.5 Vedení Klatovy–Vydra

Jelikož se rozvodna Vydra nachází v národním parku, je nanejvýš potřebné využít stávající trasy vedení. Jelikož je do nejbližší rozvodny Sušice dvojité vedení již zaústěno, vedlo by přidání dalšího vedení k nutnosti výstavby druhé řady podpěrných bodů. Také zlepšení plynoucí z výstavby takového vedení by nebylo tak značné. Naopak při výstavbě vedení z rozvodny Klatovy, mohou být všechna dotčená vedení dvojitá, což umožňuje použití standardních podpěrných bodů v jedné řadě. Tato situace je dobře patrná na obrázku 5.9. Dále je tímto způsobem vytvořen jakýsi bypass okolo vedení V1261 mezi rozvodnami Sušice a Klatovy. Tato skutečnost dále navyšuje využitelnost nového vedení. Pro toto využití je dále potřeba navýšit průřez vedení V1214 na $3 \times 240 \text{ AlFe}$, aby mělo shodný průřez s vedením novým. Vedení V1261 již v současnosti průřez 240 mm^2 má.

Tuto variantu není nutno samostatně simulovat, jelikož nebylo prokázáno nebezpečí přetížení dotčených vedení. Do počítačového modelu bude tedy vedení zahrnuto až pro celkové navrhované řešení.



Obr. 5.9 Navrhované vedení Klatovy–Vydra (čárkovaně) [2]

V následující tabulce (tab. 5.9) vidíme kromě parametrů navrhovaného vedení KLA_VYD (Klatovy–Vydra), také aktualizované parametry zbylých vedení podle návrhu. Zmíněné parametry byly opět získány přepočtením parametrů obdobného vedení (stejný průřez a typ podpěrného bodu) na požadovanou délku vedení navrhovaných.

Tab. 5.9 Parametry vedení pro návrh vedení Klatovy–Vydra

Jméno	Vodič	l	U_n	R	X	B	R_0/R_1	X_0/X_1	I_{max}
–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	–	–	A
V1214	$3 \times 240 \text{ AlFe}$	20,51	110	2,051	7,666	7,075	3,5	3,5	550
V1261	$3 \times 240 \text{ AlFe}$	29,98	110	2,998	11,207	10,343	3,5	3,5	550
KLA_VYD	$3 \times 240 \text{ AlFe}$	38,22	110	3,822	14,286	13,185	3,5	3,5	550

Realizaci této varianty můžeme rozdělit do dvou částí. První z nich je vedení se společnými podpěrnými body u rozvodny Sušice, kde je potřebná pouze výměna lan. Druhou částí je trasa mezi rozvodnami Klatovy a Vydra, kde je nutné vyměnit i podpěrné body, kvůli zdvojení vedení. Toto rozdělení se projeví především v následujícím ekonomickém hodnocení.

5.5.1 Ekonomické zhodnocení varianty

Položky pro investice spojené s novým vedením Klatovy–Vydra vidíme níže v bodech:

• délka vedení pro výměnu lan (u rozvodny Sušice):	6,135 km
• demontáž stávajících lan:	1,5 mil. Kč
• instalace nových lan (6×240AlFe):	4,6 mil. Kč
• délka pro kompletní výměnu vedení:	38,22 km
• demontáž stávajících vedení:	62,2 mil. Kč
• zbudování navrhovaného vedení (6×240AlFe):	360,6 mil. Kč
• celkem:	428,9 mil. Kč

5.6 Souhrn jednotlivých návrhů

V této kapitole byly představeny tyto návrhy a jejich investiční náklady:

• posílení průřezu se zatížením v roce 2025:	14,4 mil. Kč
• posílení průřezu se zatížením v roce 2030:	561,1 mil. Kč
• zdvojení vedení:	575,1 mil. Kč
• vedení z DS E.ON:	150,9 mil. Kč
• vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko:	522,4 mil. Kč
• vedení Klatovy–Vydra:	428,9 mil. Kč

V následující kapitole bude z tohoto výčtu proveden výběr a sestaven celkový návrh v zapojení analyzované části DS.

6 CELKOVÉ NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Cílem této kapitoly je sloučit jednotlivé varianty do celkového návrhu zapojení DS. Nevhodné varianty budou případně z celkového návrhu vyloučeny.

6.1 Zamítnuté varianty

Varianty *Zdvojení vedení* a *Vedení z DS E.ON* byly z celkového návrhu vyloučeny. Odůvodnění tohoto rozhodnutí nalezneme níže.

6.1.1 Zdvojení vedení

Tato varianta má dvě nevýhody, pro které byla v této práci zamítnuta. První z nich je vyšší náročnost realizace z důvodu nutnosti výměny podpěrných bodů. Druhou z nich je zavěšení vedení V1262 a V1263 na společných podpěrných bodech v délce asi 9,5 km před rozvodnou Horažďovice. Jelikož se zde tedy dvojité vedení již nachází, mělo by zdvojení vedení V1263 za následek nutnost přidání další řady podpěrných bodů. Tuto variantu tedy v celkovém navrhovaném řešení zastoupí varianta *Posílení průřezu*, která řeší zjištěné problémy obdobně a vyžádá si více než desetkrát nižší investici.

6.1.2 Vedení z DS E.ON

Varianta zahrnující výstavbu vedení mezi Strakonícemi (v DS E.ON) a Horažďovicemi přináší, mimo jiné, nesporné výhody v podobě zabezpečení dodávky elektrické energie z více stran. V kapitole (5.3) věnující se této variantě nalezneme několik problémů, které je nutné vyřešit při návrhu tohoto řešení. Pro tuto diplomovou práci je stěžejní nedostupnost parametrů DS E.ON. Tím pádem není možné provést simulace a zhodnotit vliv nového vedení na distribuční soustavy obou provozovatelů. Proto nebude s touto variantou v celkovém navrhovaném řešení počítáno.

6.2 Popis celkového navrhovaného řešení

Celkové navrhované řešení se skládá z těchto variant:

- navýšení průřezu pro předpokládané zatížení v roce 2025
- vedení Klatovy–Kdyně–Nýrsko
- vedení Klatovy–Vydra

6.3 Návrh celkového řešení pro předpokládané zatížení v roce 2050

Jelikož navrhované varianty zahrnují nákladné zásahy do DS, je s ohledem na dlouhou životnost nadzemního vedení, vhodné provést simulaci se zatížením předpokládaným ve vzdálenější budoucnosti. Zvolen byl rok 2050. I když je životnost nových vedení podstatně delší (až 70 let), vzhledem ke značné nepřesnosti použité metody predikce, již delší předpověď nemá smysl. Nakonec musíme počítat i se saturací zatížení vzhledem ke konečným možnostem v rozvoji regionu. Naopak jedním z možných opodstatnění rostoucího trendu, až do této doby, může být značný vzestup elektromobility, se kterým se v nejbližších dekadách všeobecně počítá.

Dosažením do rovnice 4.1, popisující vývoj odebíraného výkonu, v předchozích částech práce, byly získány parametry odběrů předpokládaných v roce 2050 v jednotlivých rozvodnách. Tyto parametry zaznamenává tabulka 6.1. V modelu DS bylo též nutné odzkoušet různé rozdělení odběrů z jednotlivých přípojníc u rozveden s dvojitým systémem přípojníc. Následně bylo zvoleno řešení s nejlepší symetrií zatížení dvojitých vedení. (Rozdělit zatížení na přípojnice na poloviny nemusí být vždy nejlepší řešení, jelikož jsou dvojitá vedení zapojena do různých oblastí a tak jsou zatěžována různě.)

V Klatovech se jedná o připojení celého odběru na navrhovanou přípojnici Klatovy II, která je připojena do *Domažlické* oblasti. V rozvodně Nýrsko je celý odběr proveden z původní přípojnice připojené do *Klatovské* oblasti. Nakonec v rozvodně Domažlice byl odběr rozdělen na poloviny mezi jednotlivé přípojnice. Takto zvolené rozdělení výkonu mezi přípojnice, zvýšilo symetričnost zatížení dvojitých vedení napájejících tyto rozvodny a současně přenášejících výkon dále do DS.

Tab. 6.1 Předpokládané parametry v uzlech v roce 2050

Klatovská oblast				Domažlická oblast			
Název	Typ	P_{odb}	Q_{odb}	Název	Typ	P_{odb}	Q_{odb}
–	–	MW	MVAr	–	–	MW	MVAr
Nepomuk	PQ	22,05	2,50	Bělá	PQ	8,73	1,60
Horažďovice	PQ	16,30	1,50	Tachov	PQ	67,00	8,70
Sušice	PQ	37,50	4,70	Stříbro	PQ	17,90	1,45
Vydra	PQ	6,70	1,00	Vranov	PQ	1,00	0,30
Klatovy	PQ	0,00	0,00	Holýšov	PQ	39,35	3,50
Klatovy II	PQ	65,90	7,85	Domažlice	PQ	33,00	4,30
Nýrsko	PQ	21,70	4,45	Domažlice II	PQ	33,00	4,30
Nýrsko II	PQ	0,00	0,00	Kdyně	PQ	22,13	2,20

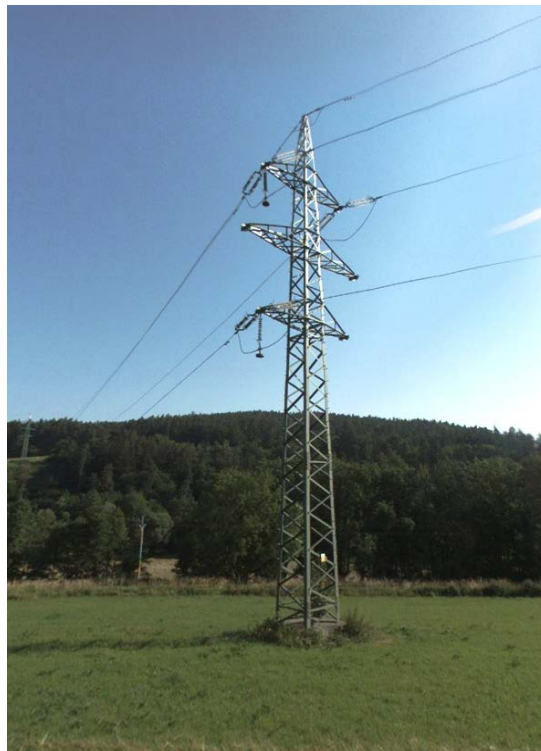
Po zadání předpokládaných odběrů v roce 2050 do počítačového modelu, došlo při vyhodnocení kritéria N-1 k přetížení některých vedení:

- V1246 (155 %, při výpadku dvojitého vedení V1271, V1272)
- V1248 (165 %, při výpadku dvojitého vedení V1271, V1272)
- V1269 (100 %, při výpadku vedení V1258)
- V1270 (135 %, při výpadku dvojitého vedení V1271, V1272)

Prvním zmíněným přetíženým vedením (při N-1) je V1246, které je ve skutečnosti tvořeno dvojitém vedením, ale jedna trojice lan je provozována na vn. Pouhou změnou způsobu provozování tedy získáme vedení dvojité a tím pádem se vyhneme jeho přetížení. Tuto skutečnost potvrdil počítačový model.

Druhým přetíženým vedením (při N-1) bylo V1248. To nabízí zásadní zjednodušení pro jeho zdvojení. Jak můžeme vidět na obrázku 6.1, nacházejí se zde stožáry typu soudek, umožňující zavěšení dvojitého vedení. Tento typ podpěrných bodů se nachází po celé délce trasy. Stožáry tedy stačí osadit další sadou izolátorových závěsů a další trojicí lan. Pro navrhovaná lana, je uvažován stejný průřez, jako je u lan stávajících. Jedná se tedy o lana 240AlFe.

Po zmíněném zdvojení (V1246 a V1248) zůstává při výpadku dvojitého vedení V1271, V1272 stále přetíženo V1270. Jeho lana byla tedy vyměněna. Místo původních $3 \times 185 \text{ AlFe}$, byla instalována lana $3 \times 240 \text{ AlFe}$. U této změny je stále možné využití stávajících podpěrných bodů. Po této úpravě již nedochází při testování kritéria N-1 k žádnému přetížení, nebo k poklesu napětí pod 10 % od jmenovité hodnoty.



Obr. 6.1 Stožár vedení V1248 [5]

O dodržení všech zmíněných limitů se můžeme přesvědčit v tabulkách 6.3 a 6.4.

Vedení V1269, které nesou stejné podpěrné body jako V1270 bylo posíleno souhlasně s V1270, kvůli dosažení symetrie zatížení podpěrných bodů.

Výsledné úpravy v bodech:

- vedení V1246 dvojité – pouze změna způsobu provozování
- vedení V1248 zdvojeno – průřez zachován, stožáry umožňují instalaci druhého vedení
- vedení V1269, V1270 – posíleno na průřez 240AlFe

Tento scénář zahrnuje minimum úprav DS a i při citelném nárůstu zatížení, které tato práce předpokládá v roce 2050, nebylo nutné měnit žádné dříve navrhované opatření. Tedy ta opatření, která původně počítala s nižším zatížením.

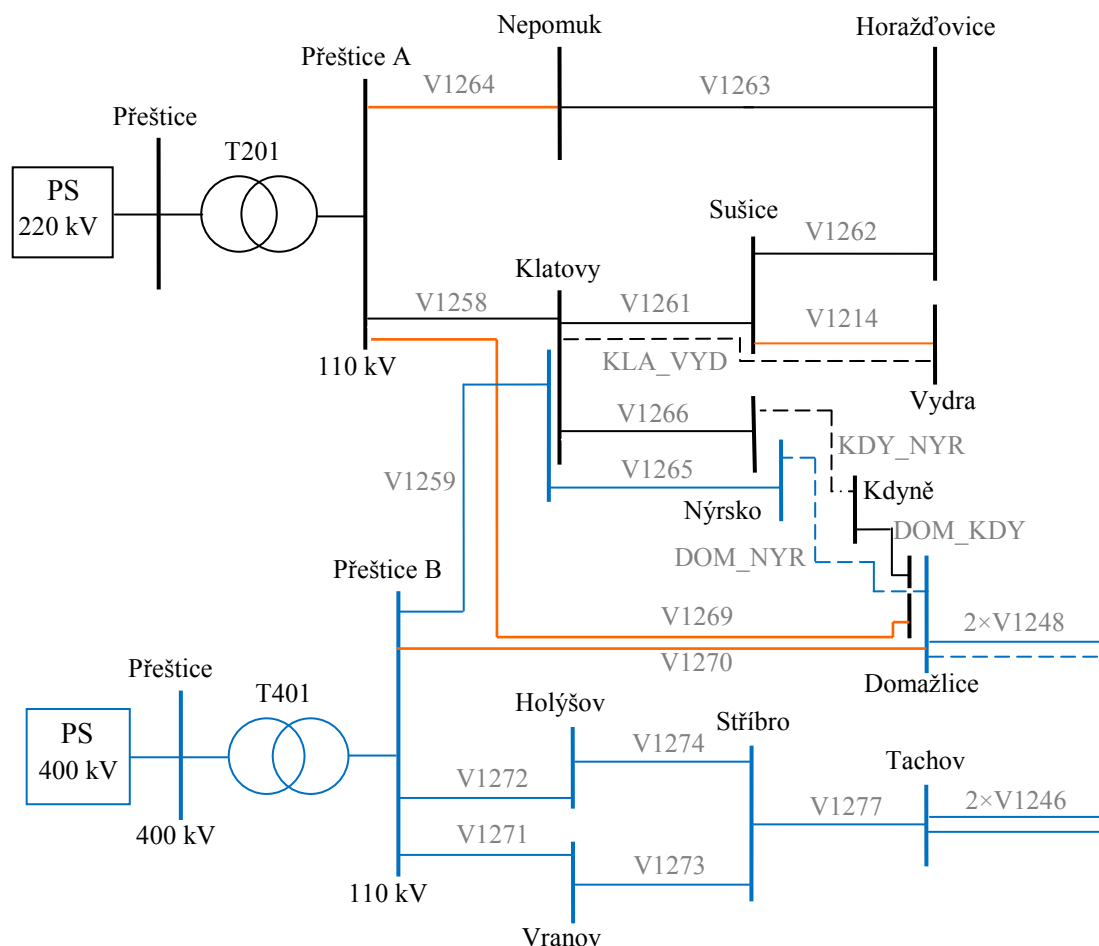
Tab. 6.2 Poměrné zatížení vedení ve finálním návrhu s předpokládaným zatížením v roce 2050

Vedení	Výchozí zatížení	Zatížení při poruše	
	ZAT_N	ZAT_{N-1}	Vypnutá vedení
—	%	%	—
DOM_KDY	20,97	54,41	V1258
DOM_NYR	5,76	83,58	V1259
KDY_NYR	2,01	60,10	V1269
KLA_VYD	11,92	27,56	V1264
V1214	5,83	21,33	V1264
V1246	11,97	63,36	V1272a, V1271
V1246_II	11,97	63,36	V1272a, V1271
V1248	15,93	67,62	V1272a, V1271
V1248_II	15,93	67,62	V1272a, V1271
V1258	34,76	62,14	V1269
V1259	43,99	65,95	V1272a, V1271
V1261	19,17	49,71	V1264
V1262a	10,39	48,08	V1261, KLA_VYD
V1262b	10,39	48,09	V1261, KLA_VYD
V1263a	27,09	65,30	V1261, KLA_VYD
V1263b	27,09	65,29	V1261, KLA_VYD
V1264	43,44	77,19	V1261, KLA_VYD
V1265	5,11	73,42	V1259
V1266	21,43	73,37	V1269
V1269	36,50	59,19	V1258
V1270	43,90	99,85	V1272a, V1271
V1271	42,62	84,19	V1272a
V1272a	48,85	72,79	V1271
V1272b	57,84	86,19	V1271
V1273	41,59	83,14	V1272a
V1274a	15,40	39,50	V1272a, V1271
V1274b	18,25	46,77	V1272a, V1271
V1277a	41,69	80,74	V1248_II, V1248
V1277b	41,69	80,73	V1248_II, V1248
V1277c	41,69	80,65	V1248_II, V1248

Tab. 6.3 Napětí v uzlech finálního návrhu s předpokládaným zatížením v roce 2050

Uzel	Výchozí napětí	Minimum napětí při N-1		Maximum napětí při N-1	
<i>Jméno</i>	U_N	U_{N-1}	<i>Vypnutá vedení</i>	U_{N-1}	<i>Vypnutá vedení</i>
–	kV	kV	–	kV	–
Bělá	116,98	108,57	V1272a, V1271	118,20	V1246_II, V1246
Domažlice	117,56	111,24	V1272a, V1271	118,56	V1248_II, V1248
Domažlice II	117,05	109,84	V1269	117,88	DOM_KDY
Holýšov	118,85	100,69	V1272a, V1271	119,38	V1274b
Horažďovice	116,75	112,08	V1264	117,43	V1262b
Kdyně	116,68	110,44	V1269	116,88	V1261, V1214
Klatovy	117,30	112,11	V1258	117,93	V1261, KLA_VYD
Klatovy II	117,25	101,74	V1259	117,42	V1248_II, V1248
Nepomuk	117,88	111,04	V1264	118,68	V1263a, V1262a
Nýrsko	116,68	112,33	V1258	117,14	V1261, KLA_VYD
Nýrsko II	117,39	104,93	V1259	117,80	V1248_II, V1248
PRE_110a	118,06	117,57	V1269	118,20	V1263a, V1262a
PRE_110b	120,51	119,12	V1272a, V1271	120,66	V1274a, V1272a
PRE_220	239,00	239,00	V1277a	239,00	V1277a
PRE_400	416,00	416,00	V1277a	416,00	V1277a
Stříbro	118,19	102,36	V1272a, V1271	119,22	V1277a
Sušice	116,43	110,71	V1261, KLA_VYD	116,89	V1266
Tachov	116,50	106,03	V1272a, V1271	116,59	V1265
Vranov	118,41	102,34	V1272a, V1271	120,27	V1273
Vydra	116,62	110,52	V1261, KLA_VYD	117,54	V1261, V1214
62a/62b	116,62	111,80	V1261, KLA_VYD	117,43	V1262b
63b/63a	117,11	111,74	V1264	118,68	V1263a, V1262a
72a/72b	119,17	114,05	V1272b	120,66	V1274a, V1272a
74a/74b	118,74	100,95	V1272a, V1271	119,39	V1274b
77a/77b	116,85	105,22	V1272a, V1271	119,26	V1277a
77b/77c	118,06	102,63	V1272a, V1271	119,23	V1277a

Jako celek vidíme navrhované úpravy v DS v následujícím liniovém schématu (obr. 6.2). Kromě rozdělení oblastí (černě – oblast *Klatovská*, modře – oblast *Domažlická*) zde též vidíme oranžově zvýrazněná vedení, u kterých došlo k posílení průřezu a čárkovane vyobrazená vedení nová. Přímou vyexportované schéma z programu LUG i se základními veličinami, pro celkové navrhované řešení, bylo vloženo jako příloha B.



Obr. 6.2 Liniové schéma celkového navrhovaného řešení (předpokládaná spotřeba pro rok 2050) (čárkovane nová vedení; oranžově posílená vedení; modře část Domažlice; černě část Klatovy)

6.4 Celkové ekonomické zhodnocení

V následujícím výčtu vidíme celkovou ekonomickou náročnost jednotlivých variant a nakonec i celkovou ekonomickou náročnost finálního návrhu.

Úpravy pro předpokládané zatížení v roce 2030

- posílení vedení V1264: 14,4 mil. Kč
- vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko: 522,4 mil. Kč
- vedení Klatovy–Vydra: 428,9 mil. Kč
- **celkem (2030): 965,7 mil. Kč**

Úpravy pro další nárůst zatížení do roku 2050

- zdvojení vedení V1246: pouze změna provozu (vn/vvn)
- zdvojení vedení V1248: 11,0 mil. Kč
- posílení vedení V1269, V1270: 38,8 mil. Kč
- **celkem (2050): 49,8 mil. Kč**

Ocenění výsledného návrhu

- **celkem: 1 015,5 mil. Kč**

V předchozím výčtu si můžeme povšimnout, že investice do úprav navrhovaných pro rok 2030 z důvodu předpokládaného nárůstu zatížení, ale velkou měrou také kvůli zvýšení zabezpečení dodávky elektrické energie, tvoří značný podíl v celkovém součtu. I když je tedy předpoklad dalšího růstu odebíraného výkonu do roku 2050 značný, díky robustnosti původního návrhu není již potřeba dalších velkých investic.

V následující tabulce (tab. 6.5) vidíme hodnoty investic uveřejněné ve výroční zprávě ČEZ Distribuce, a. s. pro rok 2018. Zde můžeme porovnat celkové ocenění návrhu s ročním rozpočtem na stavby vvn. Tyto sumy jsou velmi podobné – především s plánem pro rok 2019. Nakonec je však nutné sdělit nejdůležitější, a to sice, že navrhované úpravy DS v této práci nejsou rozhodně zamýšleny na jeden rok. Tedy i finančně se tato investice rozloží do několika let. Realizace návrhu se tedy z tohoto pohledu jeví jako reálná.

Tab. 6.4 Investiční výdaje ČEZ Distribuce, a. s. [7]

	rok 2017	rok 2018	plán pro rok 2019
	mil. Kč	mil. Kč	mil. Kč
Satvby vvn	771	866	1 056
Stavby vn	3 325	3 503	3 734
Stavby nn	4 527	4 959	4 597
Elektroměry	440	530	529
Podpůrné investice	530	836	1 018
Celkem	9 593	10 694	10 934

7 MOŽNOSTI PRO VÝSTAVBU VEDENÍ VVN

Tato kapitola má za úkol nastínit problematiku výstavby vedení a především shrnout jaká se nabízejí řešení. Uvažovanými možnostmi jsou vedení nadzemní (běžná), izolovaná nadzemní a vedení kabelová. Vyjmenované možnosti bude nakonec možné zvážit pro konkrétní návrhy z předchozích kapitol.

7.1 Elektrická vedení v krajině

Při pohybu krajinou asi každé průmyslově vyspělé země světa, dříve nebo později narazíme na elektrické vedení. Není tomu jinak ani v případě České republiky. Proto se v poslední době začíná dbát také na estetickou a ekologickou stránku vedení elektrické energie. Především se to projevuje u vedení na napětových hladinách vvn a zvn, kde je zásah do krajiny citelnější. U nových projektů se tedy často zvažují šetrnější metody vedení, nejčastěji celkem populární kabelová vedení.

Jelikož se zabýváme vedeními 110 kV, bude nejdůležitější posoudit možnosti přímo na této napětové hladině.

7.1.1 Nadzemní vedení 110 kV v krajině

U těchto vedení je nutné zajistit ochranu polohou, a proto jsou umístěny na asi 27 m až 35 m vysokých stožárech. Rozestupy mezi stožáry se standardně pohybují v rozmezí od 200 m do 300 m. Přesnější hodnoty těchto vzdáleností závisí především na reliéfu krajiny, ve které je vedení umístěno. [8]

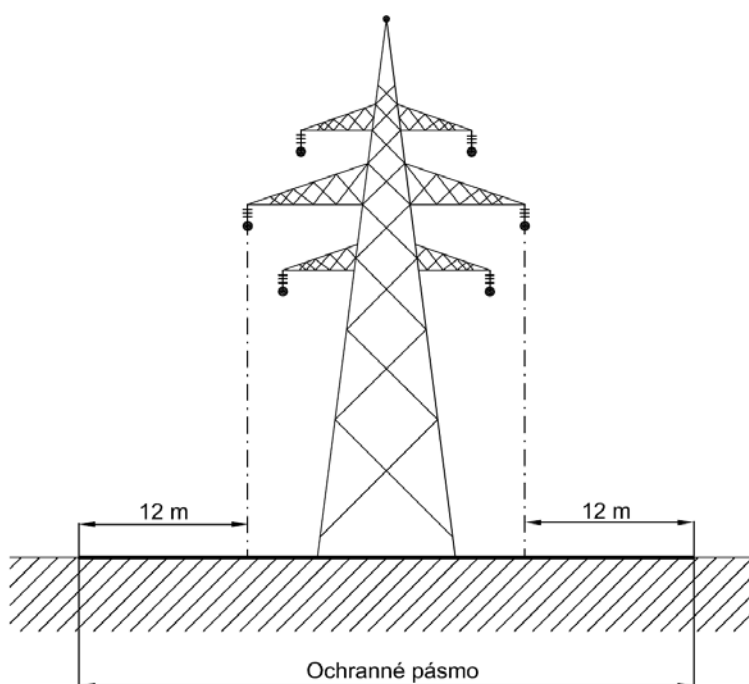
S překlenováním vodních toků, komunikací, inženýrských sítí a vůbec se začleněním do členité krajiny si venkovní vedení poradí lépe, než kupříkladu vedení kabelové. Navíc má nadzemní vedení oproti kabelovému delší životnost. Nakonec je i zřejmé, že jakýkoliv zásah, například likvidace poruchy, zde bude snadnější a rychlejší, jelikož je toto vedení relativně dobře přístupné. [8]

Ohrožení pro toto vedení představují především nepříznivé povětrnostní podmínky, jako je námraza, nebo vítr. [8]

7.1.1.1 Ochranné pásmo nadzemního vedení

K samotným konstrukcím nadzemního vedení musíme též připočíst ochranné pásmo, které též zabírá značný prostor. Energetický zákon č. 458/2000 Sb. § 46 říká o ochranném pásmu toto: *Ochranným pásmem zařízení elektrizační soustavy je prostor v bezprostřední blízkosti tohoto zařízení určený k zajištění jeho spolehlivého provozu a k ochraně života, zdraví a majetku osob.* [9]

Jedná se o prostor vedoucí souvisle po celé délce vedení. Jeho hranice se vytyčují od svislé kolmice procházející krajními vodiči (po obou stranách) viz obrázek 7.1. Velikost ochranného pásma se liší v závislosti na jmenovitém provozním napětí. Pro napětíovou hladinu nadzemního vedení 110 kV činí ochranné pásmo 12 m od zmíněné kolmice. Celková šíře ochranného pásma většinou činí 27 m až 30 m. Přesně bychom tuto šíři znali, pokud bychom měli konkrétní údaje o použitých stožárech. [8, 9]



Obr. 7.1 Ochranné pásmo nadzemního vedení

V tomto pásmu kromě zákazu vysazování chmelnic není možné nechávat ani jiné porosty růst nad výšku 3 m. V místech, kde trasa vedení prochází lesním porostem, je nutné udržovat z jedné strany stožárů volné pásmo o šířce 4 m. [9]

Dále je potřeba souhlasu vlastníka vedení kupříkladu k provádění zemních prací, zřizování staveb a umísťování konstrukcí. Naopak těžká technika zde může projíždět bez omezení hmotnosti. [9]

7.1.2 Izolovaná (kompaktní) nadzemní vedení v krajině

Další možností je izolované nadzemní vedení. Lana tohoto vedení jsou pokryta izolací, která nedovoluje jejich vzájemný kontakt, nebo kontakt s neživými částmi stožárů. Velkou výhodou je však možnost zmenšení vzdálenosti mezi lany vzájemně a od konzole stožáru. Tímto se stává vedení kompaktnější a především esteticky přijatelnější. Tato nesporná výhoda je však vykoupena vyšší cenou.

Kromě kompaktních rozměrů samotné konstrukce, získává menší rozměry také ochranné pásmo. Od krajních vodičů to na obě strany činí pro napětovou hladinu 110 kV pouze 5 m (oproti 12 m u standardního nadzemního vedení 110 kV). [9]

7.1.3 Kabelové vedení 110 kV v krajině

Na této napětové hladině jsou zpravidla použity kabely jednožilové, umístěné pod zem v hloubce asi 1,3 m až 1,5 m. Pod nimi se ještě nachází 20 cm až 30 cm hluboké pískové lože. Jednotlivé kabely je možno uložit vedle sebe, nebo do trojúhelníku. Tímto je následně ovlivněno kupříkladu jejich chlazení a také šířka výkopu. Ta se může pohybovat asi od 0,6 m až do 1,2 m. Díky podzemnímu uložení zaručují kabely velmi nízkou poruchovost. [8]

Kabely jsou na místo pokládky dopravovány namotané na kabelových bubnech (viz obr. 7.2). Zejména tím je ovlivněna jejich přípustná délka. Musí tedy docházet k jejich napojování přibližně každých 600 m až 800 m. Pro každé napojení je nutné vybudovat tzv. spojoviště, které vyžaduje asi 8 m dlouhé, 1,5 m široké a 1,8 m hluboké betonové lože a umožnění volného přístupu, nejlépe však příjezdu těžké mechanizace. Ta je potřebná pro případné opravy těchto nejnáchylnějších míst kabelového vedení. [8]



Obr. 7.2 Odvíjení kabelu 110 kV z bubnu [8]



Obr. 7.3 Koridor kabelu 110 kV [10]

V případě strmějšího svahu, je nutné přidat též kotevní body a vyvarovat se přímé trasy s gradientem stoupání, tak aby nedošlo k tíhovému přetížení kabelu. [8]

Nepříznivý vliv může mít kabelové vedení na spodní vodu. Výkop a především pro vodu dobře propustné pískové lože, může měnit toky podzemní vody. Může také docházet ke zvýšenému odpařování této vody vlivem zahřátí kabelu (až na teplotu 90 °C). Toto vysoušení půdy může mít za následek zvýšenou půdní erozi. [8]

7.1.3.1 Ochranné pásmo kabelového vedení

Stejně jako u nadzemního vedení, i zde se vytyčuje od krajních vodičů na obě strany. Jde však o mnohem menší vzdálenost. Ta pro napětovou hladinu 110 kV činí 1 m. Příklad takto vzniklého koridoru vidíme na obrázku 7.3. [9]

Shodná s nadzemním vedením jsou omezení týkající se zemních prací, zřizování staveb a umisťování konstrukcí. Větší omezení přináší úplný zákaz vysazování porostů v tomto pásmu.

Aby nedošlo k poškození vedení, energetický zákon rovněž zakazuje přejíždět tato vedení stroji s celkovou hmotností přesahující 6 t. [9]

7.1.3.2 Stejnoseměrné kabelové vedení

Mohli bychom pro jeho výhody uvažovat též vysokonapěťový stejnosměrný přenos. Takový druh přenosu se zpravidla označuje anglickou zkratkou HVDC. Většinou se tato technologie využívá na podmořské kabely, nebo na velmi dlouhá vedení. Především u těchto dlouhých vedení se projevuje výhoda použití dvou kabelů, namísto tří. Cenu této možnosti totiž dále podstatně zvyšuje nutnost měření na obou stranách vedení. [8, 10]

Zásah do krajiny je každopádně obdobný jako v případě kabelu střídavého a v případě krátkých vzdáleností očekávatelných v České republice by nebyla tato možnost rentabilní. Tato eventualita tedy nebude dále uvažována. [8, 10]

7.2 Porovnání nadzemního a kabelového vedení

V předchozí části této kapitoly jsme se dozvěděli o dvou, resp. třech způsobech začlenění elektrického vedení do krajiny. V následující tabulce (tab. 7.1) nalezneme přehledné shrnutí výhod jednotlivých možností pro vedení 110 kV.

Tab. 7.1 Porovnání různých typů vedení 110 kV [8, 10]

Parametr	Nadzemní vedení	Izolované vedení	Kabelové vedení
Předpoklad životnosti	70 let	více než 40 let	25 let
Estetická přijatelnost	horší	lepší	nejlepší
Investiční náklady	nízké	vyšší	vysoké
Náklady na údržbu	standardní	nízké	nízké
Odolnost před povětrnostními vlivy	nízká	vyšší	vysoká
Poruchovost	vyšší	nižší	nízká
Odstraňování poruch	snadné a krátké	snadné a krátké	složité a zdlouhavé
Riziko narušení půdních poměrů	nízké	nízké	vysoké
Volný pohyb zvěře	není omezen	není omezen	není omezen
Křížení s liniovými prvky krajiny	snadné	snadné	komplikované
Zkušenosti provozovatelů	velké	velmi malé	malé

7.2.1 Podrobnější ekonomické porovnání nadzemního a kabelového vedení

Srovnáváno bude dvojité nadzemní a dvojité kabelové vedení 110 kV s obdobnou zatížitelností. Jelikož procházejí všechna vedení popisovaná v této práci volnou krajinou (obcemi pouze těsně před zaústěním do rozvodny), bude i ve srovnání uvažován volný terén. To hraje roli především u finanční náročnosti výstavby vedení kabelového. Srovnání probíhá na jednom kilometru fiktivního vedení. Zdrojem dat jsou, stejně jako u předchozích ekonomických hodnocení, obecné tabulky CAPEX informativního charakteru poskytnuté zadavatelem práce.

CAPEX – Investiční výdaje

• zbudování dvojitého kabelového vedení:	25,50 mil. Kč/km
• demontáž kabelového vedení po konci životnosti:	10 000 Kč/km
• celkem kabelové vedení:	25,51 mil. Kč/km
• zbudování dvojitého nadzemního vedení:	9,40 mil. Kč/km
• demontáž nadzemního vedení po konci životnosti:	1,60 mil. Kč/km
• celkem nadzemní vedení:	11,00 mil. Kč/km
• rozdíl mezi kabelovým a nadzemním vedením:	14,50 mil. Kč/km

Pro srovnání je též potřeba uvažovat náklady na údržbu. Ty mluví ve prospěch kabelových vedení, která můžeme považovat téměř za bezúdržbová. Největší nároky na údržbu u kabelového vedení mají kabelové koncovky. Celkově však tyto náklady v rámci této práce zanedbáme.

Náklady na údržbu nadzemního vedení stanovíme z tabulkových dat poskytnutých zadavatelem práce. Jedná se o tabulky celkových provozních nákladů – tzv. OPEX (operating expense). Tyto náklady značně rostou se stářím vedení, jelikož starší a opotřebovanější vedení je stále náročnější udržet v provozuschopném stavu. Vývoj finanční náročnosti se stářím vedení vidíme dále v bodech:

- 1. – 25. rok: 5 000 Kč/km/rok
- 26. – 50. rok: 22 000 Kč/km/rok
- 51. – 57. rok: 55 000 Kč/km/rok
- 58. – 71. rok: 84 000 Kč/km/rok

Pro náklady za celou životnost vedení provedeme následný výpočet:

$$N_{pc} = (25 \cdot 5\,000) + (25 \cdot 22\,000) + (7 \cdot 55\,000) + (14 \cdot 84\,000) = 2,2 \text{ mil Kč/km} \quad (7.1)$$

kde N_{pc} jsou celkové provozní náklady

Tímto součtem přes celé období životnosti nadzemního vedení jsme zjistili, že celkové náklady na provoz budou 2,2 mil. Kč/km. I s těmito náklady je celkově každý kilometr kabelového vedení o 12,3 mil. Kč dražší, než kilometr vedení nadzemního. Jde tedy téměř o dvojnásobný rozdíl.

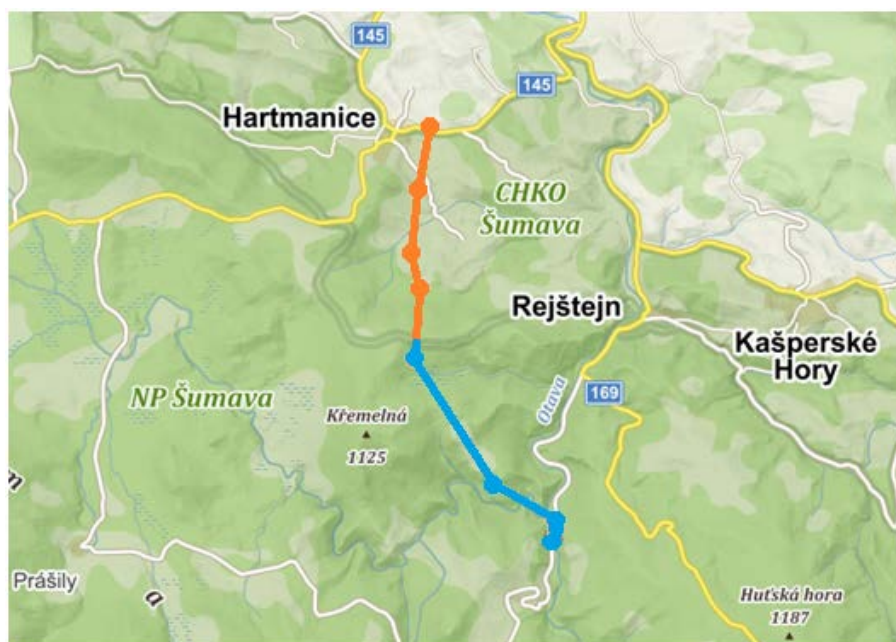
7.3 Zahrnutí typů vedení do konkrétních variant

Především z ekonomického posouzení jednoznačně vyplývá, že kabelová vedení naleznou své uplatnění pouze tam, kde si to okolnosti jednoznačně vyžadují. Vedení izolovaná, spojující alespoň částečně výhody obou zbylých typů, nejsou téměř vůbec v DS 110 kV rozšířena (pravděpodobně se v České republice taková vedení nevyskytují vůbec). To samozřejmě neplatí u vedení vn, kde se stala dobrým kompromisem mezi nadzemním a kabelovým vedením v řadě případů.

Dalším problémem pro kabelová vedení, u konkrétních návrhů v této práci, je značná délka jednotlivých vedení. U takto dlouhých vedení již nepříznivě ovlivňuje jejich provoz velká kapacita kabelů, kterou je tedy nutné kompenzovat tlumivkami. Nutnost instalace těchto kompenzačních zařízení dále komplikuje a prodražuje realizaci kabelových vedení.

7.3.1 Návrh kabelového vedení k rozvodně Vydra

Jediným místem, kde by snad klady kabelizace mohly převládat nad zápory, je část vedení procházející Národním parkem Šumava k rozvodně Vydra. Tuto část trasy měřící 4,63 km vidíme zakreslenou modrou čarou na obrázku 7.4. Oranžově je ve stejném obrázku znázorněna navazující část vedení, vedoucí až za hranice CHKO Šumava. Celková délka trasy přes tato chráněná krajinná území činí 8,35 km. Po zbytek trasy by byla zachována vedení nadzemní a celkově by se tedy jednalo o tzv. vedení smíšené.



Obr. 7.4 Část vedení k rozvodně Vydra přes NP Šumava (modře) a CHKO Šumava (oranžově) [5]

Částečnou náhradu nadzemního vedení kabelem zahrneme do počítačového modelu obsahujícího finální návrh. Parametry kabelového vedení získáme přímo z příslušné knihovny programu LUG. Zvolen byl hliníkový kabel s průřezem 300 mm², který je možné zatížit proudem 390 A. Jde o nejnižší možný průřez, díky kterému neklesne zatížitelnost vedení oproti původnímu řešení.

Nejdříve půjde o simulaci s využitím kabelového vedení jen na části trasy procházející národním parkem. Konkrétní parametry kabelového i zbývajících částí nadzemního vedení pro tento případ nalezneme v následující tabulce (tab. 7.2).

Tab. 7.2 Parametry vedení pro částečnou kabelizaci na trase k rozvodně Vydra – jen v NP

Jméno	Druh vedení	Vodič	<i>l</i>	<i>U_n</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>B</i>	<i>I_{max}</i>
–	–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	A
V1214	nadzemní	3×240AlFe	15,88	110	1,588	5,935	5,478	550
V1214-KAB	kabelové	3×300Al	4,63	110	0,463	0,718	463,000	590
KLA_VYD	nadzemní	3×240AlFe	33,59	110	3,359	12,555	11,588	550
KLA_VYD-KAB	kabelové	3×300Al	4,63	110	0,463	0,718	463,000	590

Obdobné parametry pro stejná vedení nalezneme v tabulce 7.3. Jediným rozdílem je tedy rozšíření kabelů až za hranice CHKO Šumava. Část vedení realizovaná kabelem je tedy přibližně dvakrát delší, než u pouhého překlenutí NP Šumava.

Tab. 7.3 Parametry vedení pro částečnou kabelizaci na trase k rozvodně Vydra – v NP i CHKO

Jméno	Druh vedení	Vodič	<i>l</i>	<i>U_n</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>B</i>	<i>I_{max}</i>
–	–	–	km	kV	Ω	Ω	μS	A
V1214	nadzemní	3×240AlFe	12,16	110	1,216	4,546	4,195	550
V1214-KAB	kabelové	3×300Al	8,35	110	0,835	1,294	835,000	590
KLA_VYD	nadzemní	3×240AlFe	29,87	110	2,987	11,166	10,305	550
KLA_VYD-KAB	kabelové	3×300Al	8,35	110	0,835	1,294	835,000	590

Již z právě uvedených tabulek je patrné zásadní zvýšení kapacitní susceptance u kabelového vedení, oproti vedení nadzemnímu. Provéřit je tedy zapotřebí především změnu v poměru činného a jalového výkonu, kterou zvýšení kapacity přináší a to na začátku i na konci vedení. Nejlépe můžeme tuto skutečnost pozorovat na změnách účinníku. Proto v tabulce 7.4 nalezneme jeho srovnání v původním stavu a s přidaným kabelovým vedením pro oblast NP a také pro kabelizaci přes celé území NP i CHKO.

Dalším problémem může být zvýšení napětí na koncích kabelu vlivem Ferrantiho jevu. Tento jev se projevuje nejvíce při výkonovém odlehčení kabelu.

Nakonec musíme počítat se značným nabíjecím proudem kabelu, který je opět způsoben jeho velkou kapacitou. Ten i výše zmíněné problémy je nutné řešit pomocí kompenzační tlumivky, která se zpravidla zařazuje paralelně s kabelem.

Na rozhraní mezi kabelové a nadzemní vedení byly do modelu přidány uzly *kabel/nadzemní 1* a *kabel/nadzemní 2*, které s tímto označením nalezneme v tabulce 7.4. Části příslušných vedení tvořené kabelem jsou v této tabulce doplněny zkratkou *KAB*.

Tab. 7.4 Porovnání účinníků pro různé fáze kabelizace vedení k rozvodně Vydra

		ZAČÁTEK VEDENÍ				KONEC VEDENÍ		
		původní	jen NP	NP i CHKO		původní	jen NP	NP i CHKO
Název vedení	Uzel	$\cos\varphi_p$	$\cos\varphi_{NP}$	$\cos\varphi_{CHKO}$	Uzel	$\cos\varphi_p$	$\cos\varphi_{NP}$	$\cos\varphi_{CHKO}$
–	–	–	–	–	–	–	–	–
V1214 (původní)	Vydra	0,985			Sušice	0,985		
KLA_VYD (původní)	Vydra	0,986			Klatovy	0,986		
V1214	kabel/ nadzemní 1		0,678	0,478	Sušice		0,674	0,478
V1214-KAB	Vydra		0,984	0,993	kabel/ nadzemní 1		0,678	0,478
KLA_VYD	kabel/ nadzemní 2		0,957	0,789	Klatovy		0,958	0,792
KLA_VYD-KAB	Vydra		0,987	0,994	kabel/ nadzemní 2		0,957	0,789

V tabulce 7.4 si můžeme povšimnout velkého poklesu hodnoty účinníku vlivem přidání kabelového vedení. Červeně byly v tabulce zvýrazněny hodnoty nižší než 0,95. Pod touto hodnotou účinníku je již nutné provést jeho kompenzaci, což vede k dalším nákladům. Touto simulací se tedy potvrdil předpoklad nutné kompenzace z úvodu podkapitoly 7.3.

Potřebný kompenzační výkon vypočítáme podle následující rovnice:

$$Q_k = P \cdot (\tan\varphi - \tan\varphi_k) \quad (7.2)$$

kde: Q_k je kompenzační jalový výkon
 P je činný výkon přenášený vedením
 φ je úhel mezi napětím a proudem před kompenzací
 φ_k je úhel mezi napětím a proudem požadovaný po kompenzaci

Potřebný kompenzační výkon pro obě kabelová vedení a oba stupně kabelizace nalezneme v následující tabulce (tab 7.5). Příklad výpočtu pro první řádek tabulky nalezneme pod touto tabulkou (rovnice 7.3). V tabulce 7.5 jsou uvedeny také hodnoty činného výkonu potřebné pro výpočet výkonu kompenzačního. Ztráty činného výkonu na vedení můžeme pro tento výpočet zanedbat, resp. zanedbáme rozdíl ve výkonu na začátku a na konci vedení. Zanedbání bylo možné, protože ztráty dosahují pouze řádu desítek kW, oproti výkonu v řádu MW. V tabulce 7.5 je tedy uvedena pouze střední hodnota činného výkonu.

Tab. 7.5 Vypočítaný kompenzační výkon

Název vedení	Oblasti pro navrženou kabelizaci	P	Q_k
–	–	MW	MVAr
V1214-KAB	jen NP	7,9	5,97
V1214-KAB	NP i CHKO	7,9	11,92
KLA_VYD-KAB	jen NP	14,7	0,00
KLA_VYD-KAB	NP i CHKO	14,7	6,58

Příklad výpočtu pro první řádek tabulky 7.5:

$$Q_k = 7,9 \cdot [\tan(\arccos 0,678) - \tan(\arccos 0,95)] = 5,97 \text{ MVAr} \quad (7.3)$$

Z provedeného výpočtu vyplývá, že velikost kompenzačního výkonu je přímo úměrná aktuálnímu zatížení. Je tedy nutné provést kompenzaci pomocí regulovatelné tlumivky. Jelikož se jedná o specializované zařízení, nebylo možné běžným způsobem zjistit jeho přesnou cenu. Z brožury popisující kompenzační tlumivky společnosti Siemens, byl využit alespoň reprezentativní příklad obdobné tlumivky pro napětí 110 kV, s kompenzačním výkonem v řádu desítek MVAr, který by byl přibližně potřeba. Investiční výdaje pro pořízení a instalaci této tlumivky jsou přibližně 36 mil. Kč (v originále 1,4 mil. euro). [11]

Kompenzační tlumivky musíme nasadit na oba kabely, tím pádem se bude jednat o dvě tlumivky, které dále prodraží tento návrh.

Závěrem bylo provedeno ekonomické zhodnocení provedené úpravy. Jednotlivé investiční položky varianty nového vedení Klatovy–Vydra (podkapitola 5.5), nyní doplněné o kabelová vedení vidíme níže v bodech:

Kabelizace jen na území NP Šumava

- zbudování dvojitého kabelového vedení (4,63 km): 118,1 mil. Kč
- kompenzační tlumivky: 72,0 mil. Kč
- zbudování zbylých částí (nadzemních) vedení (33,59 km): 316,9 mil. Kč
- investice shodné s původním návrhem vedení k rozvodně Vydra: 68,3 mil. Kč
- celkem: 575,3 mil. Kč
- investice vzroste oproti původnímu návrhu o: 146,4 mil. Kč

Kabelizace na území NP i CHKO Šumava

• zbudování dvojitého kabelového vedení (8,35 km):	212,9 mil. Kč
• kompenzační tlumivky:	72,0 mil. Kč
• zbudování zbylých částí (nadzemních) vedení (29,87 km):	281,8 mil. Kč
• investice shodné s původním návrhem vedení k rozvodně Vydra:	68,3 mil. Kč
• celkem:	635,0 mil. Kč
• investice vzroste oproti původnímu návrhu o:	206,1 mil. Kč

Jelikož jde o jediná vedení, která v rámci této práce procházejí chráněným krajinným územím, bylo by vhodné umístit pod zem vedení přes NP i CHKO Šumava. Také se jedná o zalesněná a hůře přístupná území, ve kterých by se dalo očekávat snížení výskytu poruch, které se zde hůře odstraňují. To by také mohlo přispět k ospravedlnění vyšších investičních nákladů.

Pokud tedy přičteme vícenáklady 206,1 mil. Kč z bodového výčtu pro kabelizaci vedení skrze NP a CHKO Šumava, k původním nákladům na celkové navrhované řešení 1 015,5 mil. Kč, obdržíme celkovou částku 1 221,6 mil. Kč.

8 SHRUTÍ A DOPORUČENÍ

Stěžejním návrhem se stalo nové vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko, které zásadním způsobem přispělo k řešení zjištěných problémů. Dále byl navýšen průřez vedení V1264, V1269 a V1270. Vedení V1246 a V1248 byla zdvojena. U zdvojení V1246 šlo pouze o změnu provozu druhé části vedení z vn, na vvn. Vedení V1248 též nabízelo velké zjednodušení pro zdvojení, a to sice možnost využití stávajících podpěrných bodů, které osazení dvojitým vedením umožňují.

Posledním návrhem je zdvojení vedení mezi rozvodnami Klatovy, Sušice a Vydra. Hlavní výhodou je, že se poslední zmíněná rozvodna již nebude nacházet na jednoduchém paprsku. V poslední části této práce byla navržena úprava tohoto návrhu, která zahrnuje částečnou kabelizaci vedení k rozvodně Vydra. Jedná se o vedení procházející CHKO a NP Šumava. Poměr mezi výhodami a nevýhodami kabelizace není jednoznačný, proto je tento návrh pouhým doporučením, které bylo záměrně odděleno od celkového návrhu.

Celkové dimenzování bylo provedeno pro předpokládané zatížení v roce 2050. Použitá metoda predikce vykazuje značnou nepřesnost, avšak neuvažovat žádný vývoj v zatížení by bylo též velmi nevhodné. Při případné realizaci navrhovaného zapojení DS se očekává porovnání předpokladu zatížení v této práci s přesnější predikcí zadavatele. Na základě porovnání je následně možné provést korekci dimenzování.

Náklady na realizaci celkového navrhovaného řešení byly vyčísleny přibližně na 1 016 mil. Kč (nejlevnější varianta), a to bez částečné kabelizace vedení k rozvodně Vydra. Při kabelizaci skrze CHKO a NP Šumava vzrostou celkové náklady na 1 222 mil. Kč (nejdražší varianta). Stručný rozpis jednotlivých investičních výdajů, pro doporučený scénář úprav, nalezneme v tomto výčtu:

- | | |
|---|-------------------|
| 1. posílení průřezu vedení V1264 na 3×240AlFe: | 14,4 mil. Kč |
| 2. vedení Domažlice–Kdyně–Nýrsko, včetně rozvodny Kdyně: | 522,4 mil. Kč |
| 3. vedení Klatovy–Vydra | |
| a) jen nadzemní vedení: | 428,9 mil. Kč |
| b) s kabelovým vedením skrze NP Šumava: | 575,3 mil. Kč |
| c) s kabelovým vedením skrze NP i CHKO Šumava: | 635,0 mil. Kč |
| 4. zdvojení vedení V1246: | jen změna provozu |
| 5. zdvojení vedení V1248: | 11,0 mil. Kč |
| 6. posílení průřezu dvojitého vedení V1269, V1270 na 3×240AlFe: | 38,8 mil. Kč |

I když není předchozí seřazení návrhů zcela striktní, označuje prioritu, se kterou by měla být jednotlivá řešení realizována. Především by měl být kladen důraz na bod č. 1, jelikož u vedení V1264 hrozí přetížení (při N-1) nejdříve.

Bod č. 2 je též stěžejní, jelikož zde navrhované vedení zásadním způsobem přispívá k vyšší zatížitelnosti a zabezpečení dodávky elektrické energie v této části DS. Zbýlé návrhy dimenzování by také při jeho absenci nemusely být dostačující.

U bodu č. 3 si zase můžeme povšimnout třech možností, s různou finanční náročností, mezi kterými se může investor rozhodnout. Poslední tři body mají naopak prioritu nejnižší. Byly totiž navrženy až pro zatížení očekávané v roce 2050. Také nízká náročnost umožňuje jejich pružnou implementaci v případě potřeby.

9 ZÁVĚR

Nejdříve byla v této práci popsána daná část DS, která měla být optimalizována. Pro dokonalejší popis současného stavu byl vytvořen počítačový model dané části sítě. Na něm byla provedena simulace ustáleného stavu a kontrola kritéria N-1. K hodnocení stavu dané části DS v budoucnu byla provedena jednoduchá predikce zatížení.

Při současných hodnotách přenášených výkonů se kontrolované veličiny vejdou do předepsaných mezí, avšak při nárůstu odběru elektrické energie v budoucnu, který předpokládá tato práce, dochází k nedodržení kritéria N-1.

V této práci bylo navrženo několik dílčích řešení zjištěných problémů v dané části DS. Návrhy byly založeny na posílení průřezu, zdvojení a výstavbě nových vedení. Z těchto návrhů bylo sestaveno celkové zapojení dané části DS. Jelikož byla navržena výstavba nového vedení také do odlišné části DS, bylo nutné začlenit do počítačového modelu také tuto část.

Pro všechny dílčí části i celkový návrh byla provedena hrubá kalkulace investic.

V poslední části této práce byla zvážena též ekologická stránka výstavby nových vedení. Proto došlo k porovnání různých druhů vedení, a to především vedení nadzemních a kabelových.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČEZ DISTRIBUCE, A. S. *Odečty stavů elektroměrů* [online]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/technicke-informace/odecty.html>.
- [2] EGÚ BRNO, A. S. *Elektrizační soustava ČR 2017*.
- [3] ČEZ, A. S. *Obnovitelné zdroje – Vydra* [online]. [citováno 10.12.2018]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/vydra.html>.
- [4] KROULÍK, J. A KOLEKTIV. *LUG – Manuál pro uživatele*. 2013.
- [5] SEZNAM.CZ, A. S. *Mapy.cz* [mapové podklady]. [online]. [citováno 1.5.2019]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz>.
- [6] ČEZ DISTRIBUCE, A. S. *Tisková zpráva* [online]. [citováno 1.5.2019]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/150.html>.
- [7] ČEZ DISTRIBUCE, A. S. *Výroční zpráva 2018* [online]. [citováno 1.5.2019]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/o-spolecnosti/vyrocni_zpravy/vyrocni-zprava-2018.pdf.
- [8] ČEZ DISTRIBUCE, A. S. *Porovnání nadzemního a kabelového vedení* [online]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/vedeni-110-kv-novy-bor-varnsdorf/porovnani-reseni-nadzemniho-a-kabeloveho-vedeni.html>.
- [9] Energetický zákon č. 458/2000 Sb. § 46.
- [10] HABRYCH, Richard. *Zásobování Šluknovského výběžku elektřinou*. Dostupné z: http://petule.spi.cz/wp-content/uploads/2013/12/clanek2_recenze.pdf.
- [11] SIEMENS AG. *Shunt and series reactors for medium and high voltage grids*. 2016.

PŘÍLOHA A

Schéma analyzované části DS vymodelované v programu LUG s vyobrazenými základními veličinami – současný stav.

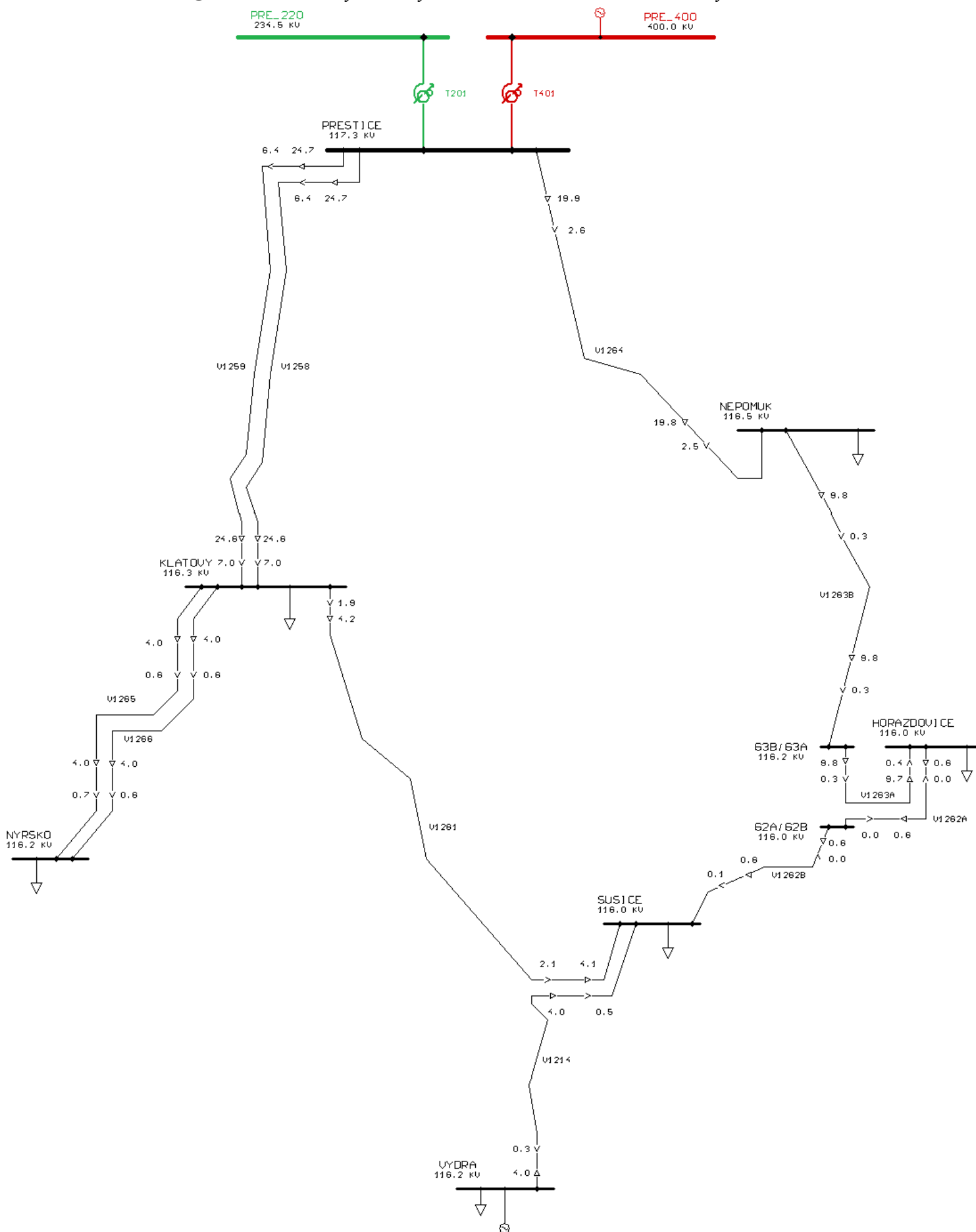


Schéma navrhovaného
zapojení DS
vymodelované
v programu LUG s
vyobrazenými základními
veličinami.

Schéma navrhovaného
zapojení DS
vymodelované
v programu LUG s
vyobrazenými základními
veličinami.

