Projektování vedení vvn / zvn

Pohled do praxe

ČVUT FEL, 6. 11. 2017

Matěj Valiga, projektant vedení

Vyloučení odpovědnosti

Stanoviska v této prezentaci uvedená či ji doprovázející při ústním podání představují toliko osobní názory autora a nejsou úplným a uceleným výkladem přednášejícího jako odborníka. Informace a rady z této prezentace vyplývající jsou toliko ilustrativní povahy, upravené pro pedagogické účely, a nemají za cíl směrovat posluchače či čtenáře k určitému jednání či nekonání či jej dokonce radou poškozovat. Tato prezentace může obsahovat informace podávané v odhadu, nadsázce či žertu, jakož i jinak nikoliv vážně míněná sdělení. Graficky ztvárněná forma prezentace je z povahy věci komponována heslovitě, útržkovitě a v náznacích a nelze ji tedy vykládat toliko podle tohoto grafického ztvárnění.
Přednášející zároveň prohlašuje, že nemá v úmyslu udílet touto prezentací komukoliv vědomě nesprávné, neúplné či dokonce škodlivé informace nebo rady ve smyslu § 2950 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, v platném znění.

Použité zkratky

- AČR – Armáda České republiky
- CST – Čechy Střed
- ČSN – česká/československá státní norma
- DOSS – dotázané orgány státní správy
- DPS – dokumentace k provádění stavby
- DSPS – dokumentace skutečného provedení stavby
- DÚR – dokumentace pro vydání rozhodnutí o umístění stavby
- DZA – dokumentace zadání akce
- EGÚ – elektroenergetický ústav
- ESČ – Elektrotechnický standard československý
- FV – fázový vodič
- HZI – Hladké Životice
- CHKO – chráněná krajinná oblast
- IZ – izolátorový závěs
- JE – jaderná elektrárna
- K – kotevní (izolátorový závěs)
- KZL – kombinované zemnicí lano
- MT – montážní tabulky
- N – nosný (stožár; izolátorový závěs)
- NIZ – neionizující záření
- NV – nařízení vlády
- PK_A – polokotevní A závěs
- PK_T – polokotevní T závěs
- PNE – podniková norma energetiky
- PS – přenosová soustava
- PT – projekční tabulky
- RTS – rated tensile strength (jmenovitá pevnost v tahu)
- RV – rohový výztužný (stožár)
- SK – stožárová konstrukce
- SML – Specified mechanical load
- TI – technická infrastruktura
- TN – technická norma
- TR – transformovna
- ÚCL – Úřad pro civilní letectví
- ÚTS – územně technická studie
- VDE – Verband der Elektrotechnik
- vvn – velmi vysoké napětí
- VYS - Výškov
- ZL – zemnicí lano
- zvn – zvlášť vysoké napětí

Obsah prezentace

1. Úvod do problematiky vedení vvn / zvn
2. Prvky vedení přenosové soustavy
3. ÚTS – zásady návrhu trasy vedení
4. DZA + DPS: projektování vedení přenosové soustavy
5. Ukázky konkrétních prací
6. Bonusová kapitola – galloping

Úvod do problematiky

Projektování a stavba vedení vvn / zvn

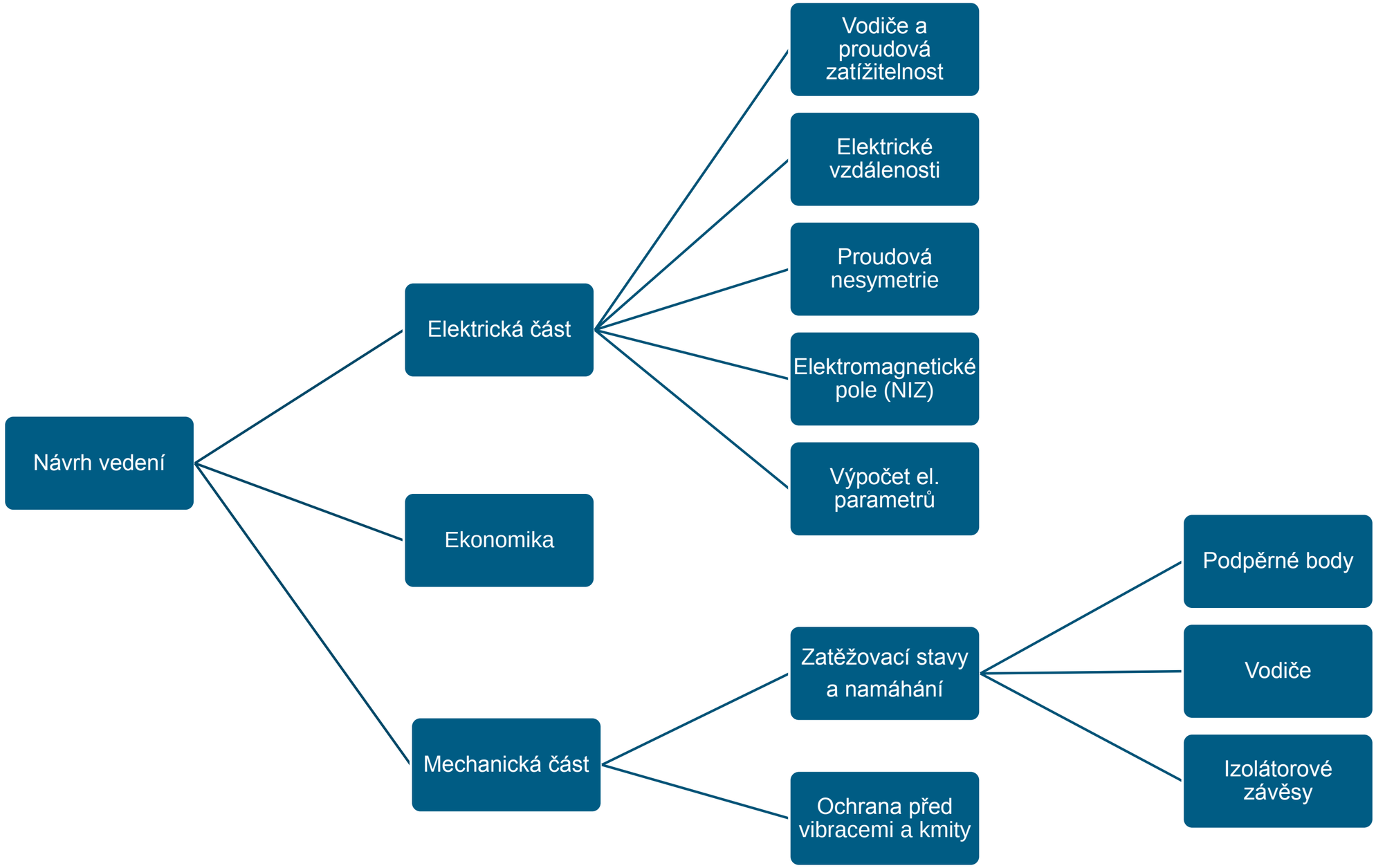
Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Legislativní a normativní vymezení

- **Předpisy**
  - **Legislativní**
    - **Zákony**
      - 183/2006 Sb. („stavební zákon“)
      - 458/2000 Sb. („energetický zákon“)
      - 360/1992 Sb. („autorizační zákon“)
    - **Vyhlášky**
      - 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb
      - 50/1978 Sb. O odborné způsobilosti v elektrotechnice
      - 106/2016 Sb. O katastru nemovitostí
    - **Nařízení vlády**
      - 291/2015 Sb. O ochraně zdraví před NIZ
    - **Metodické pokyny**
      - Metodický návod k postupu podle NV 291/2015 Sb.
  - **Normativní**
    - **Všeobecné**
      - **Evropské harmonizované normy**
        - ČSN EN 50341-1 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV
      - **Československé státní normy**
        - ESČ/VDE 1943
        - ESČ 1950
        - ČSN 34 1100/1958
        - ČSN 34 1100/1964
        - ČSN 34 1100/1974
        - ČSN 33 3300/1984
    - **Interní**
      - **Podnikové normy energetiky**
        - PNE 33 3300 Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV
      - **Technické normy ČEPS**
        - Technická životnost zařízení PS
        - Koncepce technické infrastruktury
        - Typizované izolátorové závěsy PS
        - Lanové vodiče
        - Kombinovaná zemnicí lana

Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Požadavky na projektování a stavbu



Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Ekonomické požadavky

- Náklady na stavbu vedení se odvíjí od následujících faktorů:
  - Požadavek na spolehlivost (blokové vývody JE)
  - Terénní podmínky (neprostupný terén)
  - Klimatické podmínky
    - Větrové oblasti
    - Námrazové oblasti (!)
    - Oblasti znečištění
    - Vodivý spad v blízkosti chladicích věží

} Vliv na délku IZ

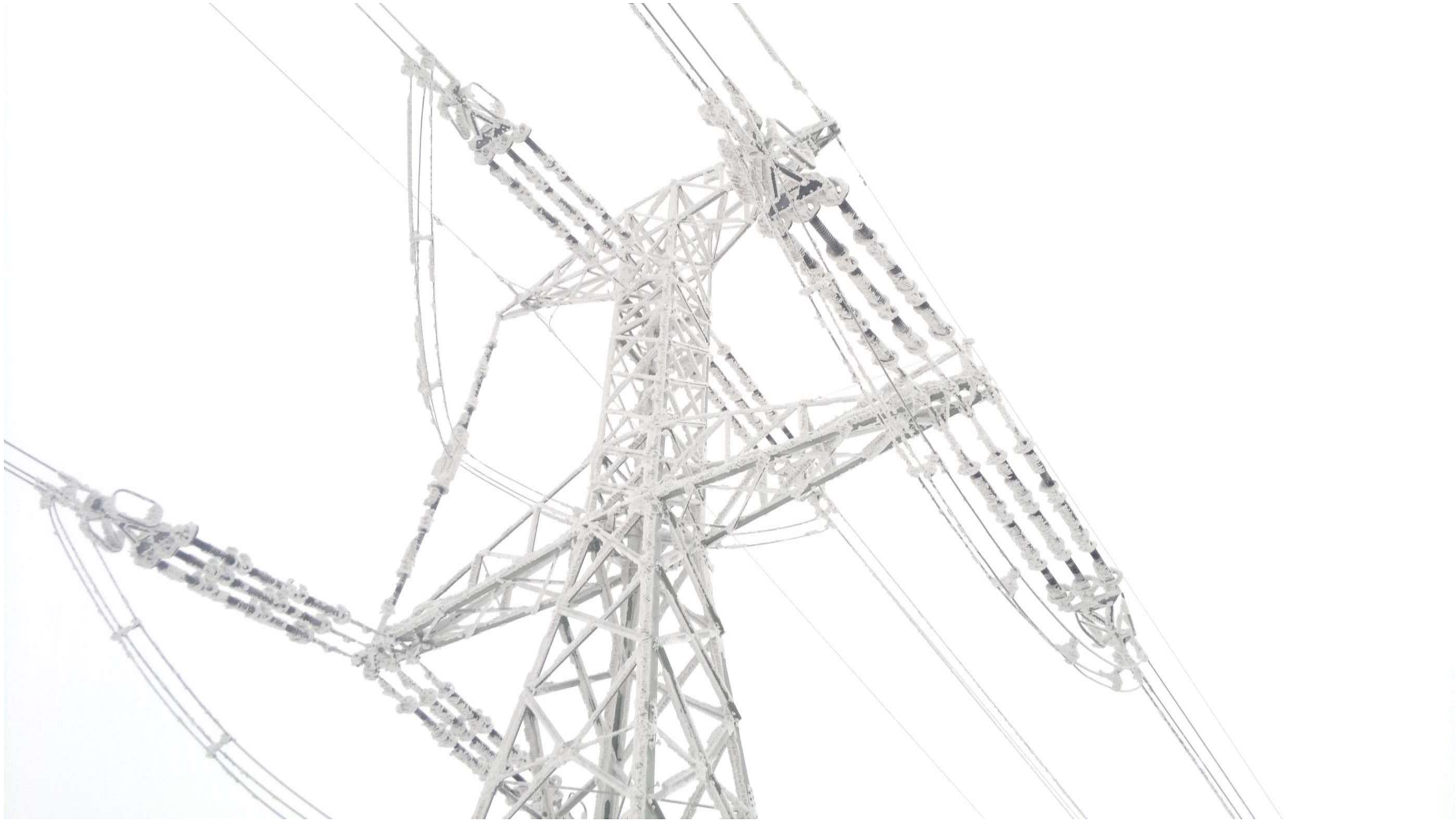
Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Ekonomické požadavky – prostupnost terénu

Zdroj: Virtuální prohlídka ČEZ

Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Ekonomické požadavky – vliv těžké námrazové oblasti



Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Ekonomické požadavky – vliv těžké námrazové oblasti

Úvod do problematiky vedení vvn / zvn

Ekonomické požadavky – cena za realizaci vedení

- V410/419 VYS - CST
- 95,2 km
- 2,75 mld. Kč
- 28,89 mil. Kč / km
- Dvojité vedení
- Lehké námrazové oblasti

- V458 KRA – HZI
- 70 km
- 2 mld. Kč
- 28,57 mil. Kč / km
- Jednoduché vedení
- Těžké námrazové oblasti

Typy PD a projektů

- Opravy, výměny, úpravy
  - Výměna FV, (K)ZL, IZ, tlumičů vibrací
  - Přeizolace křižovatek (výměna IZ ve vybraných rozpětích)
  - Modernizace na +80 °C

DPS → DSPS

Realizace → Skutečný stav

Typy PD a projektů

- Rozsáhlé projekty
  - Modernizace na vyšší parametry
  - Přestavba 220 kV → 400 kV
  - Zdvojení vedení
  - Úplně nové vedení

ÚTS	DZA	DÚR	DPS	DSPS
Proveditelnost	Cena + tech. řešení	Umístění stavby	Realizace	Skutečný stav

Prvky vedení PS

Co vše je součástí vedení

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – fázový vodič

- Využívají se zásadně AlFe lana
- Jsou stanovena typová lana, mající předepsané parametry
- Pro každý vodič je stanovena proudová zatížitelnost za těchto podmínek:
  - Teplota vodiče +80 °C
  - Teplota okolí +35° C
  - Intenzita slunečního záření 1000 W/m^2
  - Rychlost větru 0,5 m/s
  - Úhel směru větru vzhledem k ose vodiče 45°
  - Součinitel absorpce povrchu vodiče 0,5
  - Součinitel emisivity povrchu vodiče 0,5
  - Nadmořská výška 400 m. n. m.

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – fázový vodič

- Teplotní limity vymezují dovolené proudové namáhání:
  - Nejvyšší dovolená provozní teplota vodiče +80 °C
  - Krátkodobá teplota při zvláštním zatížení: +150 °C
  - Nejvyšší krátkodobá teplota při zkratu: +200 °C

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – fázový vodič

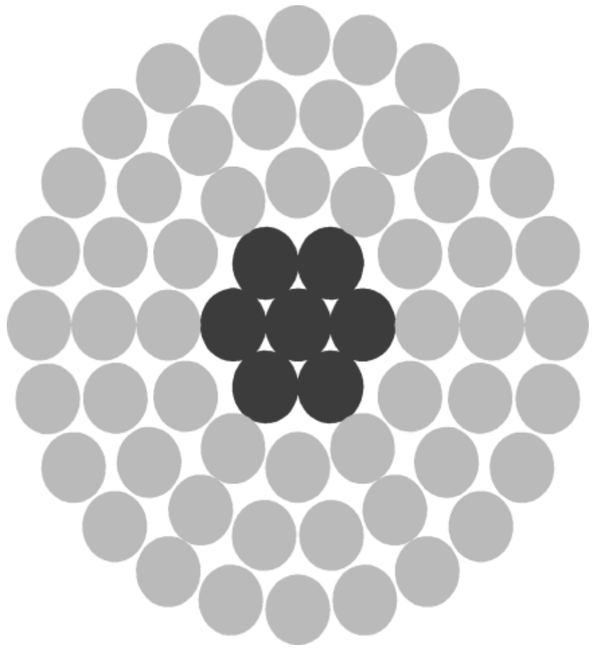
- [Průřez pláště]-[Materiál pláště]/[Průřez duše]-[Materiál duše]

Označení vodiče	Proudová zatížitelnost (A)
212-AL1/49-ST1A	500
326-AL1/86-ST6C	650
362-AL1/59-ST1A	685
382-AL1/49-ST1A	700
430-AL1/100-ST1A	765
434-AL1/56-ST1A	755
490-AL1/64-ST1A	815
679-AL1/86-ST1A	990

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – technický list lana

Označení vodiče *(Conductor designation)*	490-AL1/64-ST1A		
Fe duše lana *(Steel core)*	Materiál drátů *(material of wire)*	(-)	ST1A
	Počet drátů / konstrukce *(number of wires)*	(-)	1+6
	Jmenovitý průměr drátů *(wire diameter)*	(mm)	3,4
	Vypočtená hmotnost duše *(steel core mass)*	($kg.km^{-1}$)	497,02
	Celkový průřez duše *(steel core sectional area)*	(mm^2)	63,55
Al plášť lana *(Envelope [Al layers])*	Materiál drátů *(material of wire)*	(-)	AL1
	Počet drátů / konstrukce *(number of wires)*	(-)	12+18+24
	Jmenovitý průměr drátů *(wire diameter)*	(mm)	3,4
	Vypočtená hmotnost pláště *(envelope mass)*	($kg.km^{-1}$)	1355,83
	Celkový průřez pláště *(envelope cross sectional area)*	(mm^2)	490,28
Mazivo *(Grease)*	Mazaná pouze ocelová duše vodiče (podle EN 50182, příloha B, případ 1) *(grease application according to EN 50182, case 1, steel core only greased)*		
	Hmotnost maziva *(nominal mass of grease)*	($kg.km^{-1}$)	12,60
Lano *(Cable total)*	Jmenovitý průměr lana *(overall diameter)*	(mm)	30,60
	Celkový průřez lana *(total cross sectional area)*	(mm^2)	553,83
	Hmotnost lana bez maziva *(conductor mass without grease)*	($kg.km^{-1}$)	1852,85
	Hmotnost lana s mazivem *(conductor mass including grease)*	($kg.km^{-1}$)	1865,45
	Modul pružnosti *(modul of elasticity)*	(MPa)	67 100
	Součinitel teplotní délkové roztažnosti *(coef. of linear exp.)*	10^6 (K^{-1})	19,44
	Jmenovitá pevnost v tahu *(conductor rated tensile strength)*	(kN)	150,81
	Elektrický stejnosměrný odpor při +20 °C bez ocelové duše *(nominal resistance R_{DC} at +20 °C without steel core)*	($\Omega.km^{-1}$)	0,05898
	Směr vinutí vnější vrstvy *(direction of outer lay)*	(-)	pravotočivý *(clockwise)*



Jmenovitá pevnost vodiče (rated tensile strength) – zásadní údaj!

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – (kombinovaná) zemnicí lana

- Ochrana před atmosférickým přepětím (údery blesku)
- Pomáhá zajistit rychlé vypnutí při poruše
- Výběr správného typu K(ZL) → dle 1f zkratového proudu!
- Během zkratu nesmí dojít k překročení dovoleného oteplení vodiče I^2t
- Pro stanovenou dobu trvání zkratu musí platit:

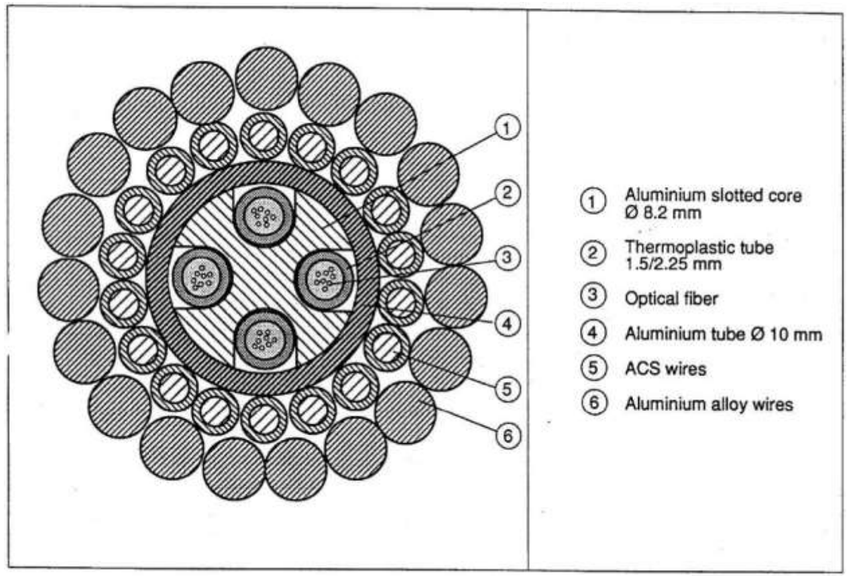
$$I_{\mathrm{dovZL1}} + I_{\mathrm{dovZL2}} \geq I_{\mathrm{1f}}$$

- Kde I_{dovZL} je dovolený zkratový proud

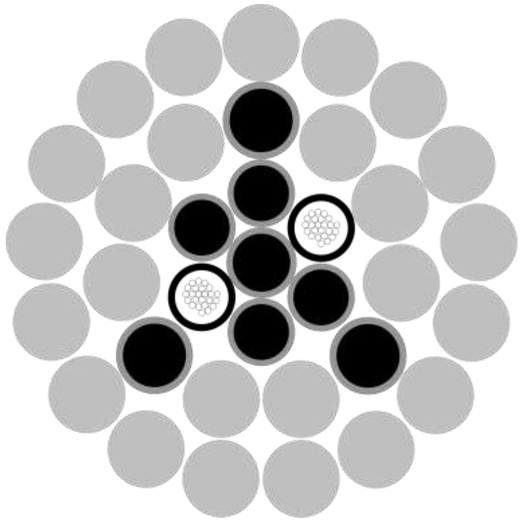
Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – kombinované zemnicí lano

- Funkce KZL → klasické ZL + optický přenos informací
- Obsahuje trubičky s optickými vlákny (24/48 vláken)
- Optiku využívá:
  - ČEPS pro vlastní potřebu
  - Externí subjekty (pronájem)
- Optická vlákna jsou náchylná na poškození → vyžaduje citlivé zacházení



Starý typ KZL



Moderní typ KZL

Prvky vedení přenosové soustavy

Vodiče – kombinované zemnicí lano

- Optika uvnitř zemnicího lana není jediný možný způsob přenosu informace
- V minulosti:
  - Optický kabel ovinutý okolo klasického ZL
  - Existují i fázové vodiče s optickými vlákny

Prvky vedení přenosové soustavy

Stožárové konstrukce

- Stožár = konstrukce, která nese vodiče
- Základní dělení z hlediska funkce a namáhání:
  - Kotevní – napíná vodiče, je namáhán tahem
  - Nosné – vodič „přidržuje“, pouze vertikální namáhání (za běžného provozního stavu)
- Další možná rozdělení dle:
  - typu stožáru (stožárové řady)
  - námrazové oblasti (dle normy)
  - napěťové hladiny (110/220/400 kV)
  - počtu systémů (1-4)

Prvky vedení přenosové soustavy

Stožárové konstrukce – kotevní vs. nosný

SK typu „Portál“ - kotevní

SK typu „Portál“ - nosný

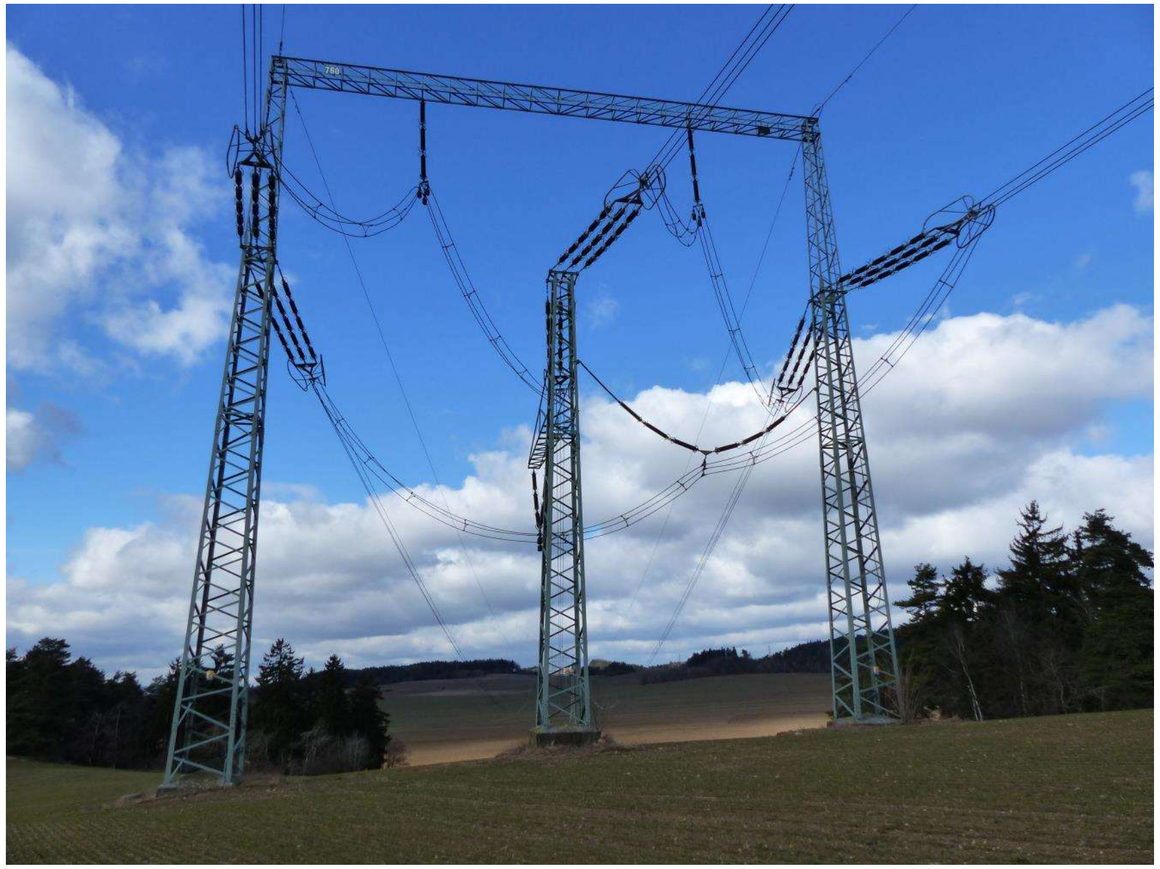
Prvky vedení přenosové soustavy

Stožárové konstrukce – podchodový

Podchodový stožár 400 kV

Prvky vedení přenosové soustavy

Stožárové konstrukce – zákrutový (kotevní + zákrutové konzoly a IZ)



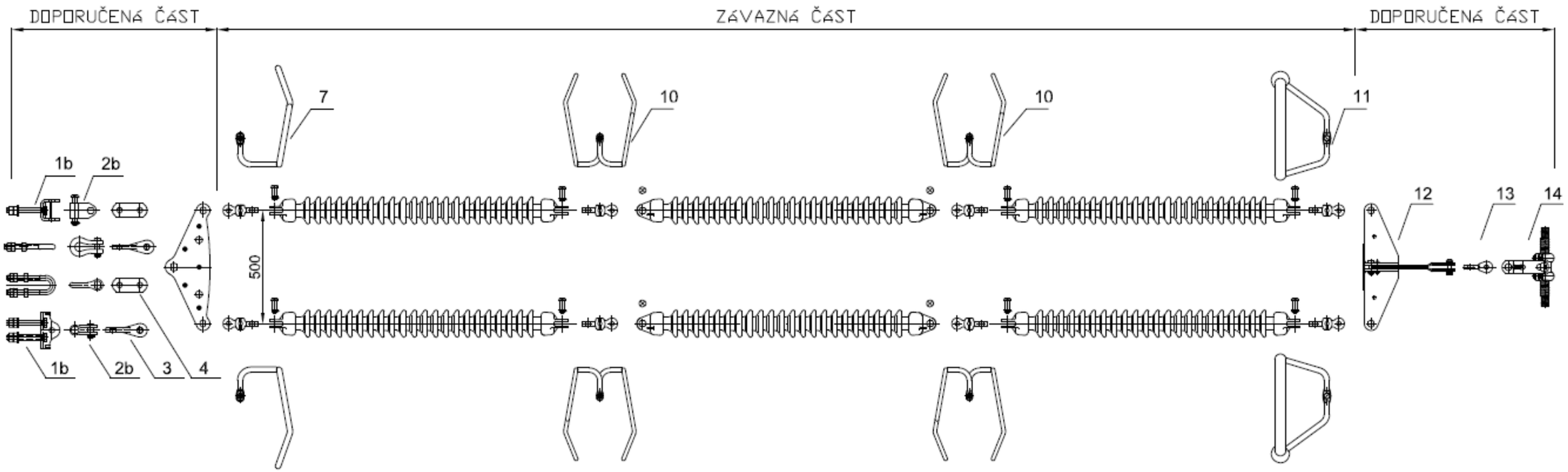
SK typu „Třídřík“ – úplný zákrut

SK typu „Portál“ – prohození dvou fází

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy

- Mechanicky spojuje vodiče (části pod napětím) se stožárovou konstrukcí (uzemněné prvky) a zároveň je elektricky odděluje



Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy

- Rozdělení dle funkce
  - Kotevní
  - Nosné
  - Polokotevní (PK_A, PK_T, PK_T speciální)
  - Pomocné nosné, zákrutové
- Rozdělení dle materiálu izolátoru:
  - Keramické, skleněné, kompozitní
- Další možná dělení:
  - Dle uchycení, počtu izolátorových řetězců

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy – kotevní stožár

- Kotevní stožár je vybaven kotevními izolátorovými závěsy
- Pokud dochází k lomu trasy vedení, přidává se na vybrané fáze pomocné nosné závěsy pro zajištění elektrické vzdálenosti vodičů přeponky od konstrukce

Kotevní a pomocné nosné IZ 400 kV

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy – nosný stožár

- Nosné stožáry vybaveny pouze nosnými IZ → ideální stav

Dvojitý nosný keramický jednobodový IZ 400 kV

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy – nosný stožár

- Někdy potřebujeme vodiče „přizvednout“, např. při zvýšení proudového zatížení
- Jak to udělat nejsnáze? Použít polokotevní závěsy!
- Něco za něco: při některých zatěžovacích stavech jsou více namáhány konzoly stožárů, které jsou vybaveny PK_A závěsy

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy – nosný stožár

Kompozitní polokotevní PK_A závěs 400 kV jednobodový

Prvky vedení přenosové soustavy

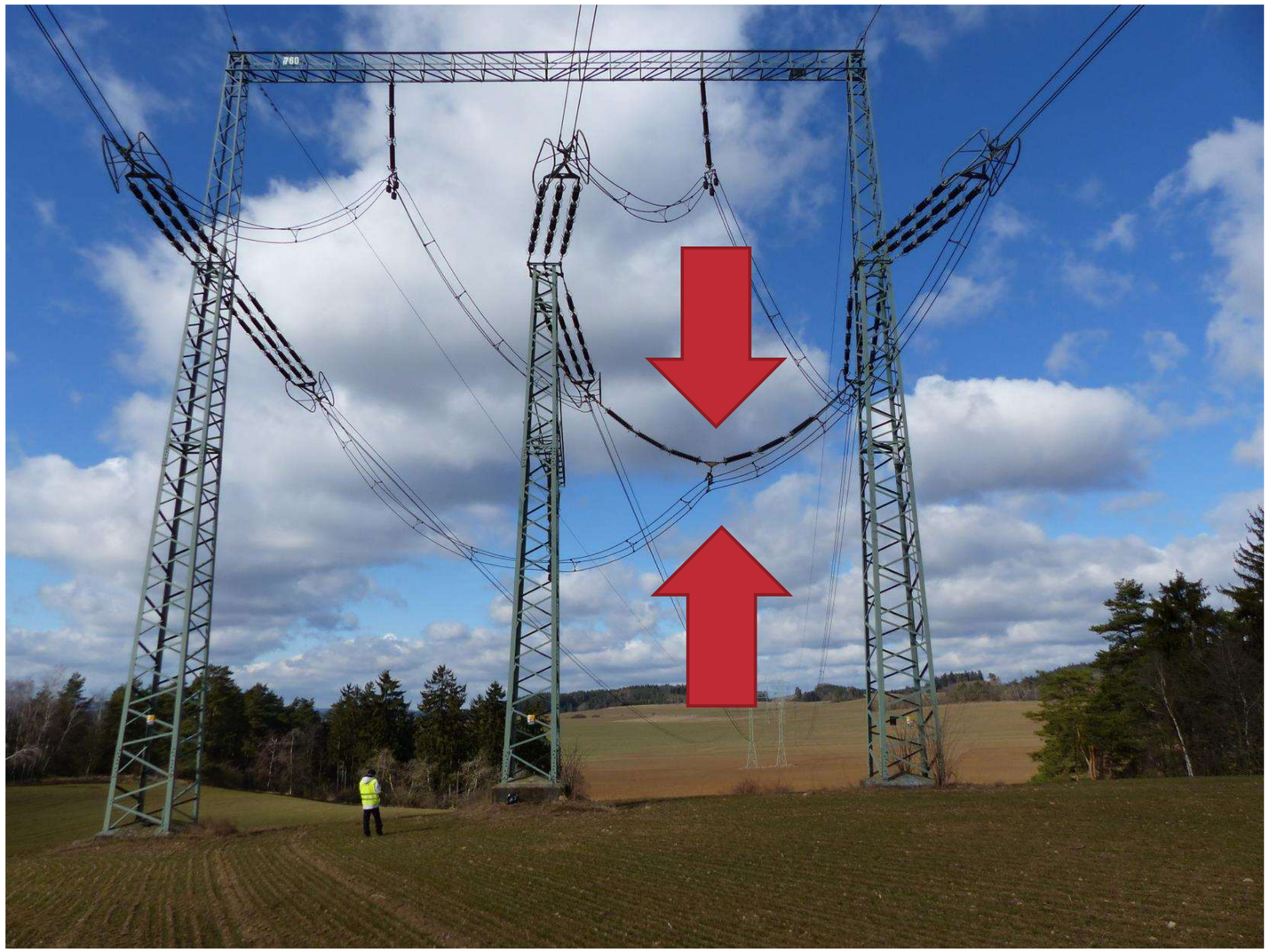
Izolátorové závěsy – nosný stožár

Kompozitní polokotevní PK_T závěs 400 kV jednobodový

Prvky vedení přenosové soustavy

Izolátorové závěsy - zákrutové

- Zákrutové IZ – vede vodiče tak, aby se nepřiblížily ke konstrukci vedení (pomocná funkce)

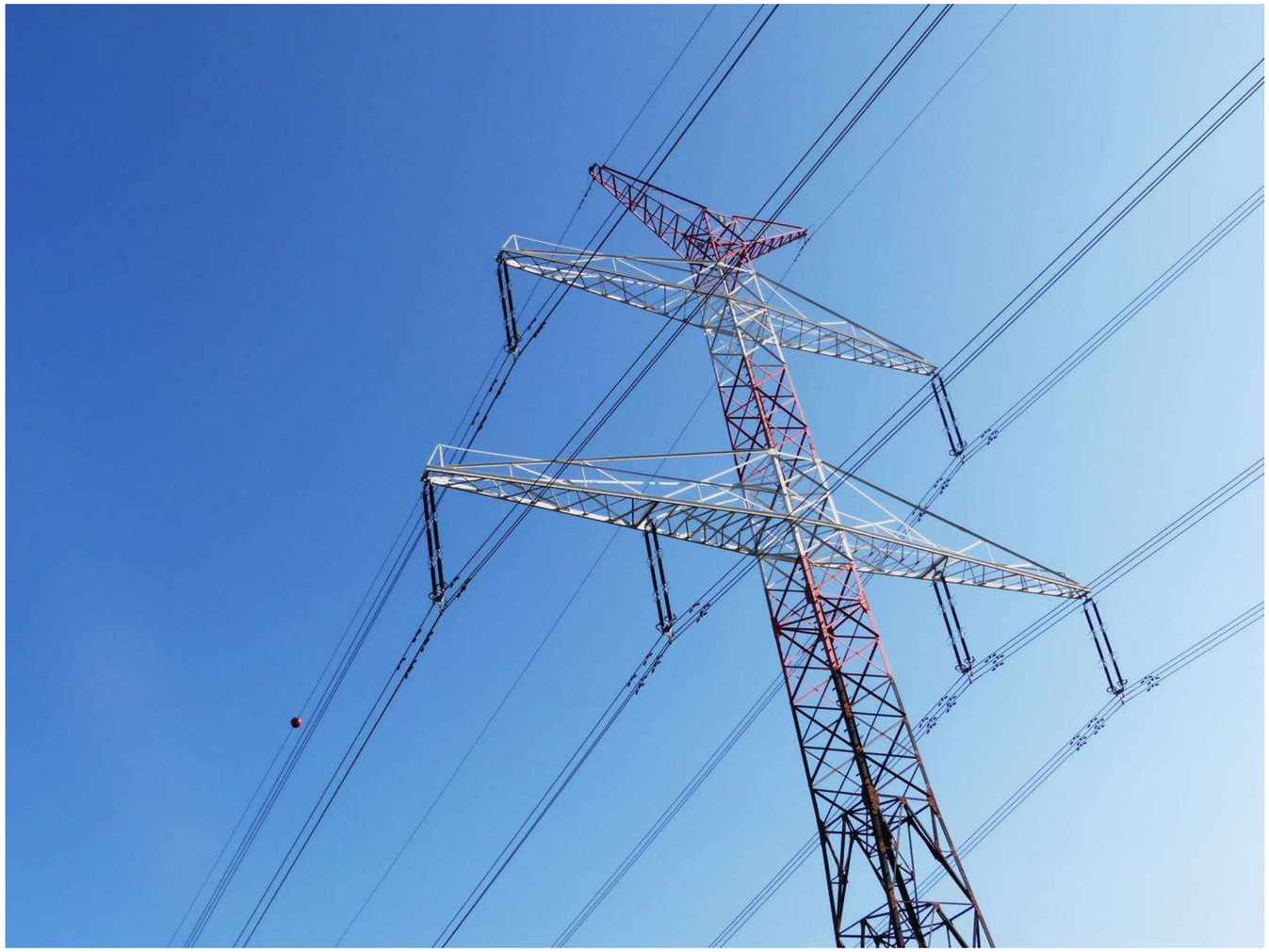


Prvky vedení přenosové soustavy

Prvky na vedení – letecké výstražné značení

- Umisťuje se v blízkosti letišť a dálnic
  - Z vlastní iniciativy ČEPS
  - Dle požadavku ŘSD, ÚCL, AČR

Kulové značky na ZL/KZL



Nátěr stožáru dle leteckého předpisu

Prvky vedení přenosové soustavy

Prvky na vedení – tlumiče vibrací

- Omezují kmitání vodičů:
  - Fázových vodičů (tam, kde nejsou tlumicí dist. rozpěrky)
  - Zemnicích a kombinovaných zemnicích lan

Starý typ tlumiče vibrací (opotřebovaný)

Moderní verze

Prvky vedení přenosové soustavy

Prvky na vedení – tlumicí distanční rozpěrky

- Pouze na vedení se svazkovými vodiči
- Dvě funkce:
  - Udržují vodiče ve svazku
  - Tlumí kmity fázových vodičů
- V minulosti se používaly jednoduché rozpěrky (spojující pouze 2 vodiče, nutno tedy použít 3 kusy) → pak bylo nutné FV doplnit tlumiči vibrací

Tlumicí distanční rozpěrka

Prvky vedení přenosové soustavy

Prvky na vedení – mezifázové rozpěrky

- Při tančení vodičů omezují pohyb a možnost přiblížení fází
- Mezifázové rozpěrky na vedení V459:

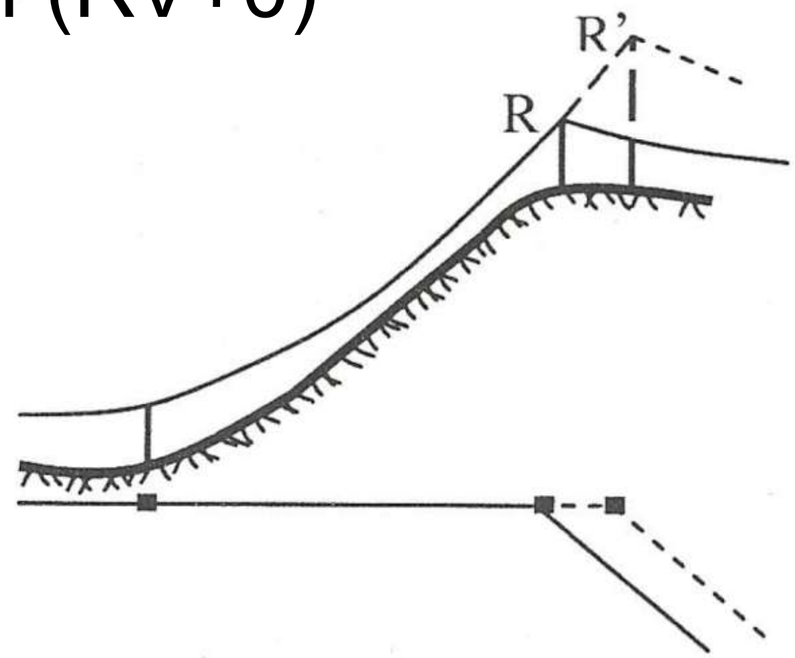
Územně-technická studie

Návrh trasy vedení 400 kV Krasíkov – Hladké Životice

Územně-technická studie – vedení 400 kV KRA - HZI

Zásady návrhu trasy

- Nutno vést v extravilánu obcí (=nezastavěné území)
- Co nejpřímější trasa
  - Co nejméně kotevních stožárů (lom trasy)
  - Co nejmenší úhly lomu trasy (RV175, RV150, RV120)
- Kotevní stožáry – co nejnižší (RV+0)

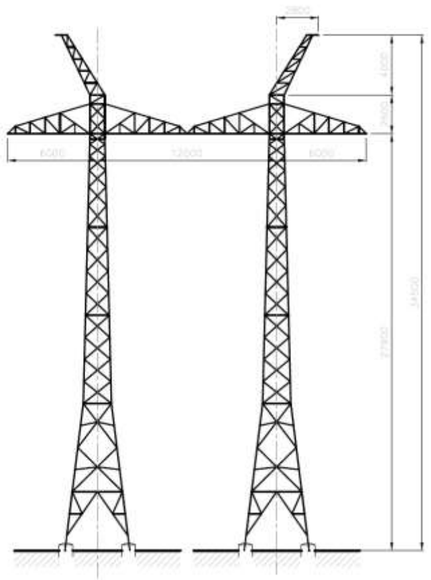


Územně-technická studie – vedení 400 kV KRA - HZI

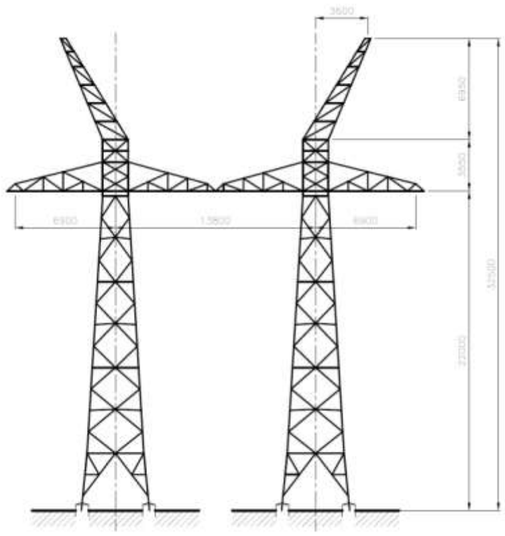
Zásady návrhu trasy – stožárové konstrukce

Portál	N+0	RV175+0	RV150+0	RV120+0
Hmotnost [kg]	12 910	24 176	26 307	31 704

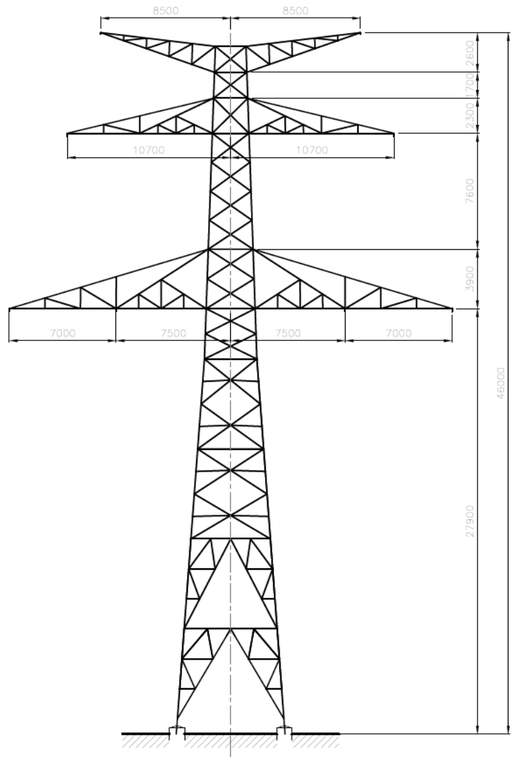
Hmotnost [kg]	RV120+0	RV120+2	RV120+12	N+12
Portál	31 704	33 400	43 044	17 324
Dunaj	44 296	45 782	59 397	27 130



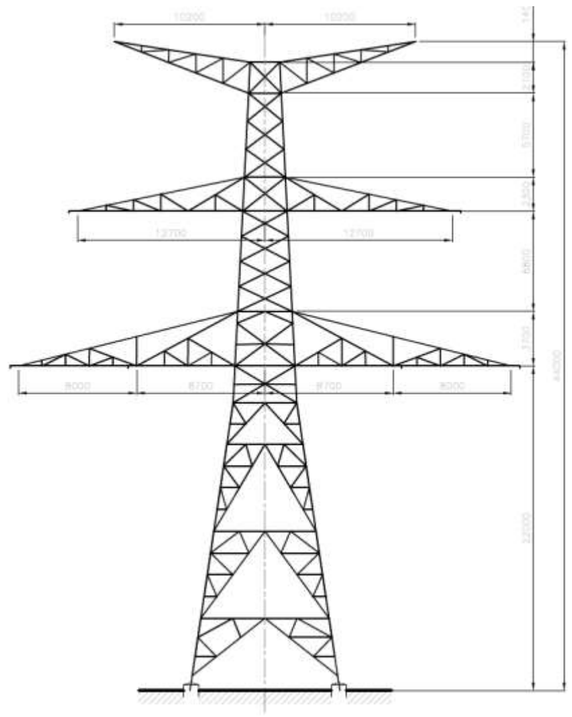
Portál nosný



Portál kotevní RV120



Dunaj nosný



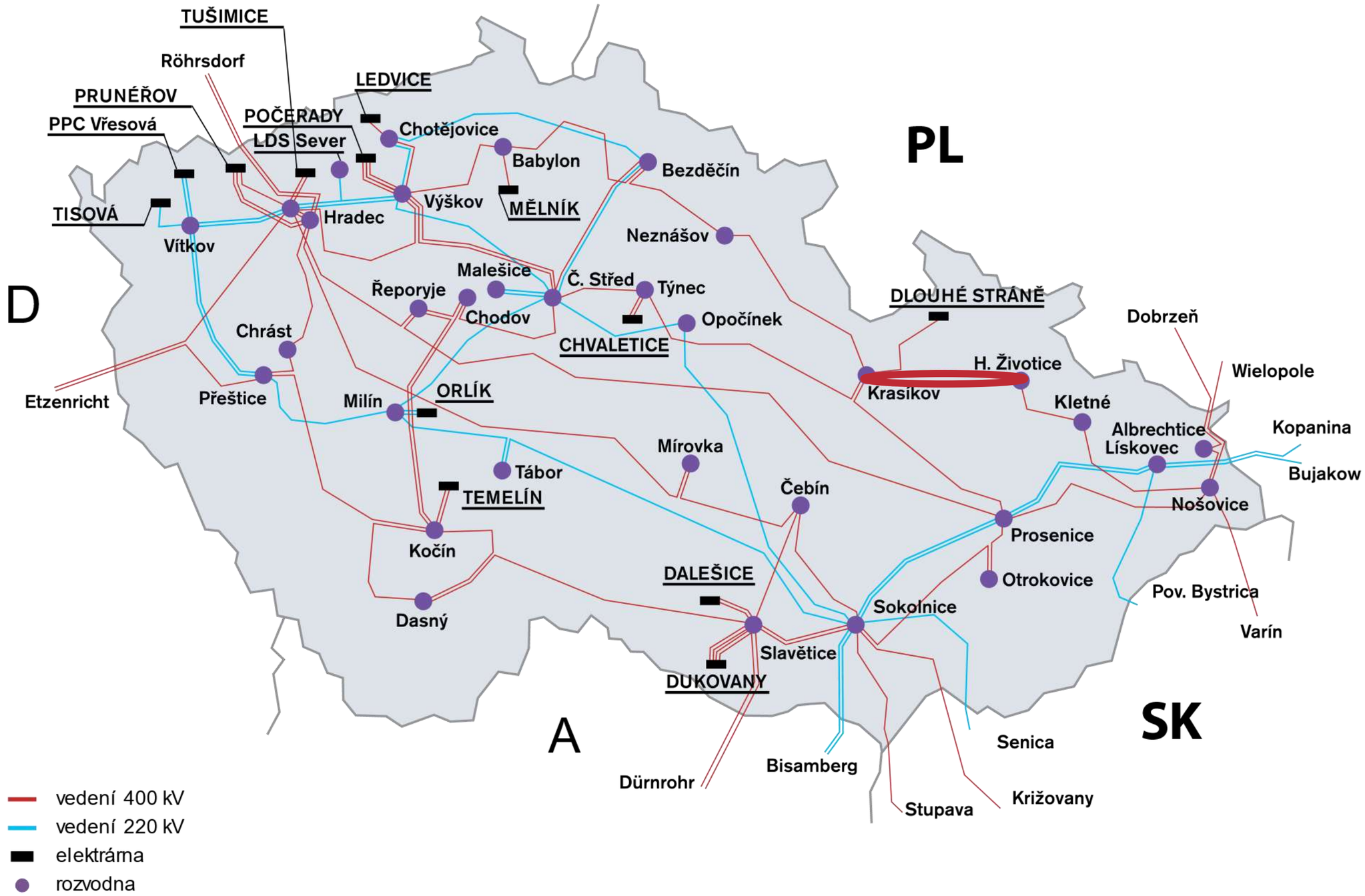
Dunaj kotevní RV120

Návrh trasy vedení

Vedení V458 TR Krasíkov – TR Hladké Životice

- Vstupní parametry
  - Pouze dokončení jednoduchého úseku V458
  - SK typu Delta
  - Délka rozpětí cca 200 m

Lokalizace vedení V458



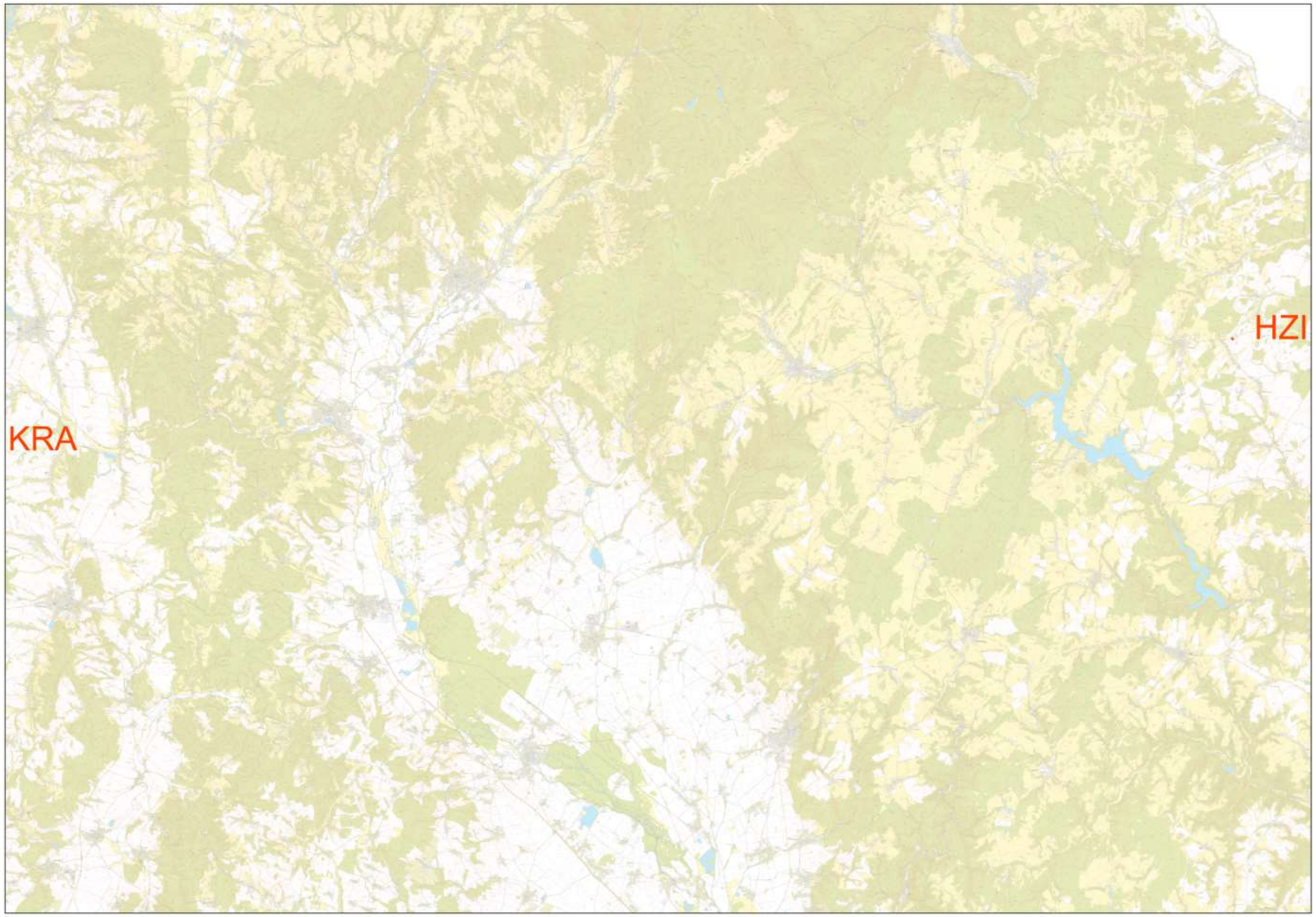
Územně-technická studie – vedení 400 kV HZI - PRN

S čím (a kým) se obvykle musíme vypořádat

- Křížení jiných vedení přenosové a distribuční soustavy
- Křížení silnic, dálnic, dráhy, vodních toků
- Telekomunikace, sdělovací sítě, rádiové spoje
- Produktovody (plyn, ropa, voda apod.)
- CHKO, oblasti Natura2000, přírodní rezervace, biokoridory
- Blízkost letišť (civilní i vojenské)
- DOSS
- Obce

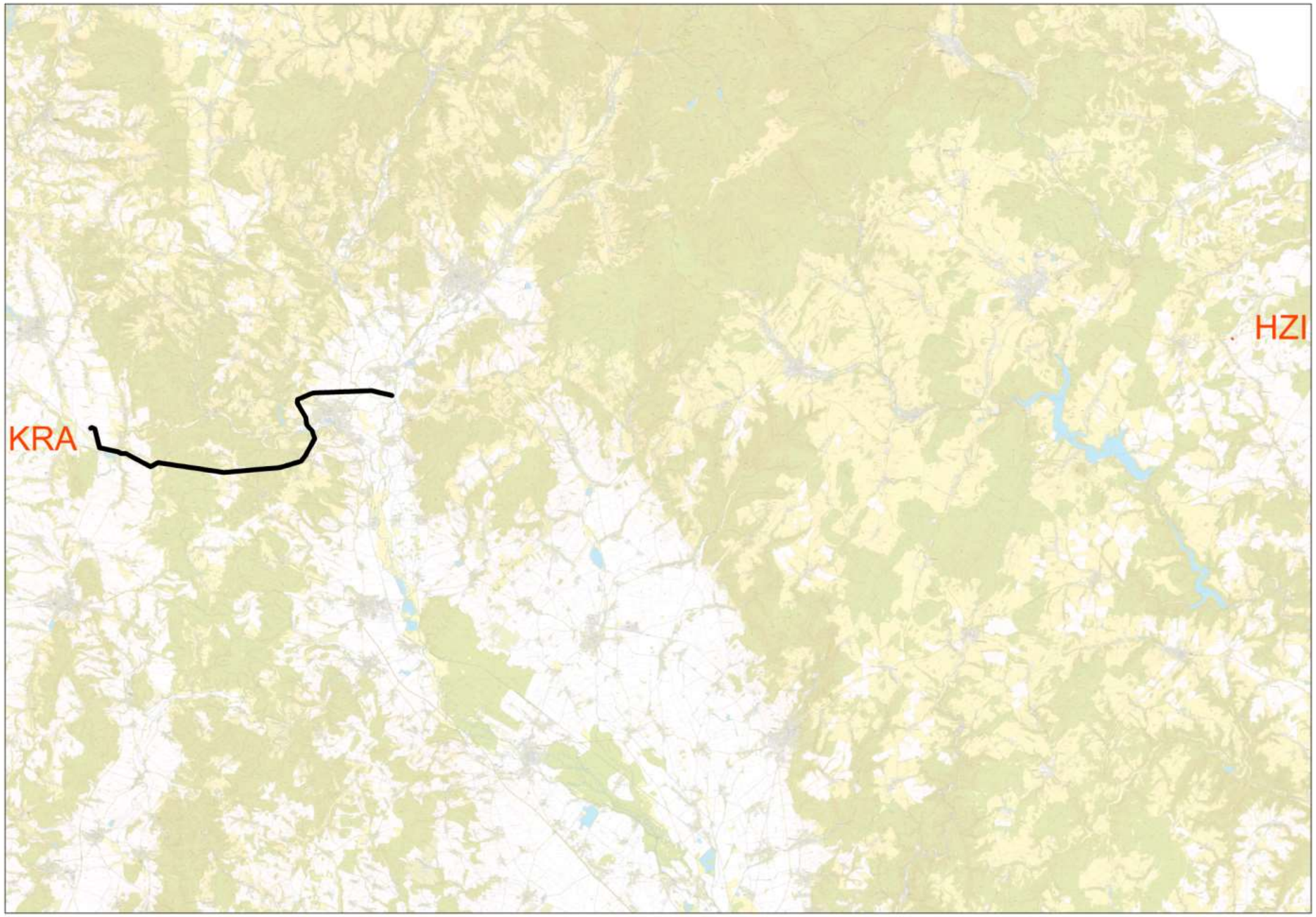
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Výchozí stav



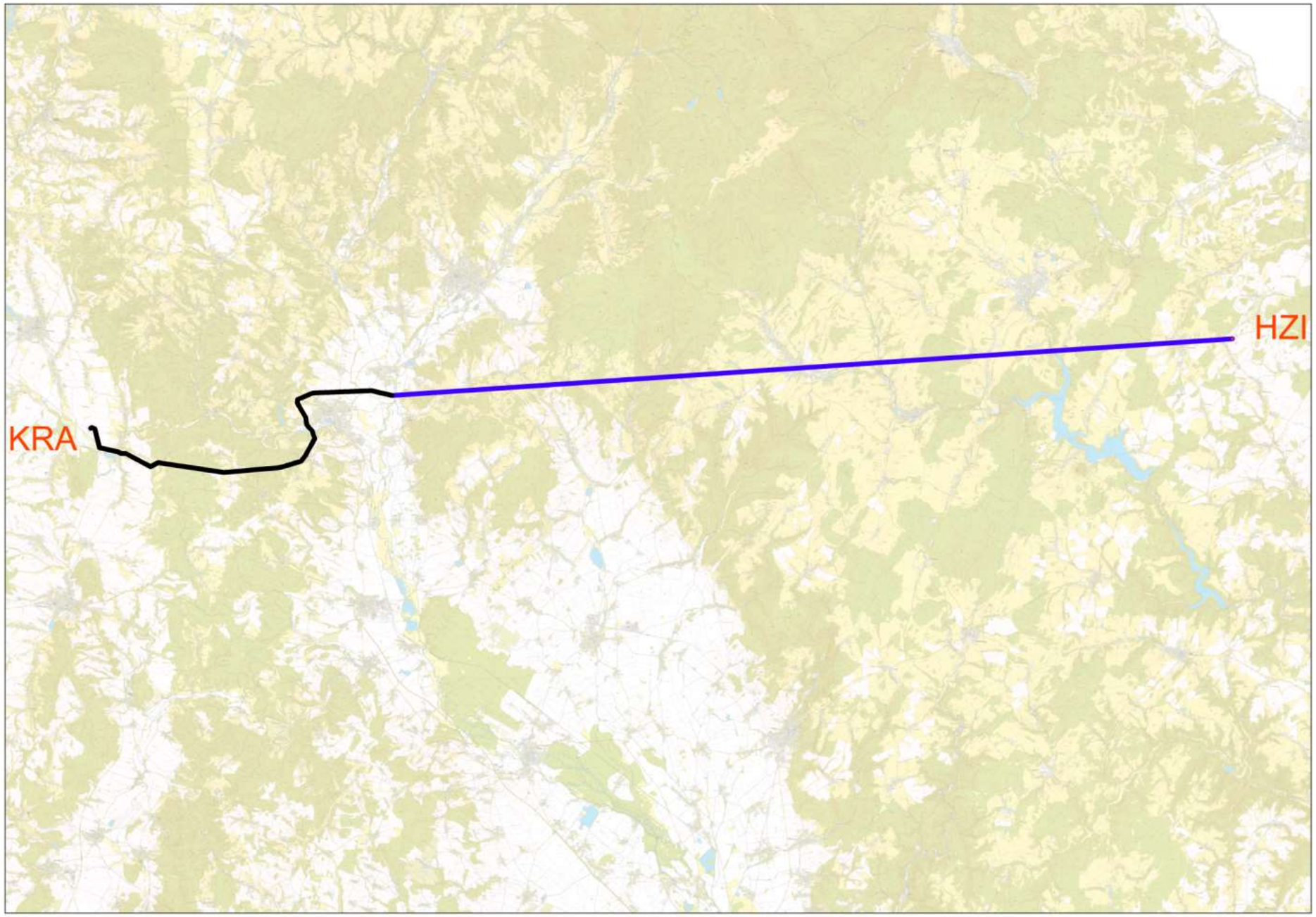
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Zdvojená (již postavená) část



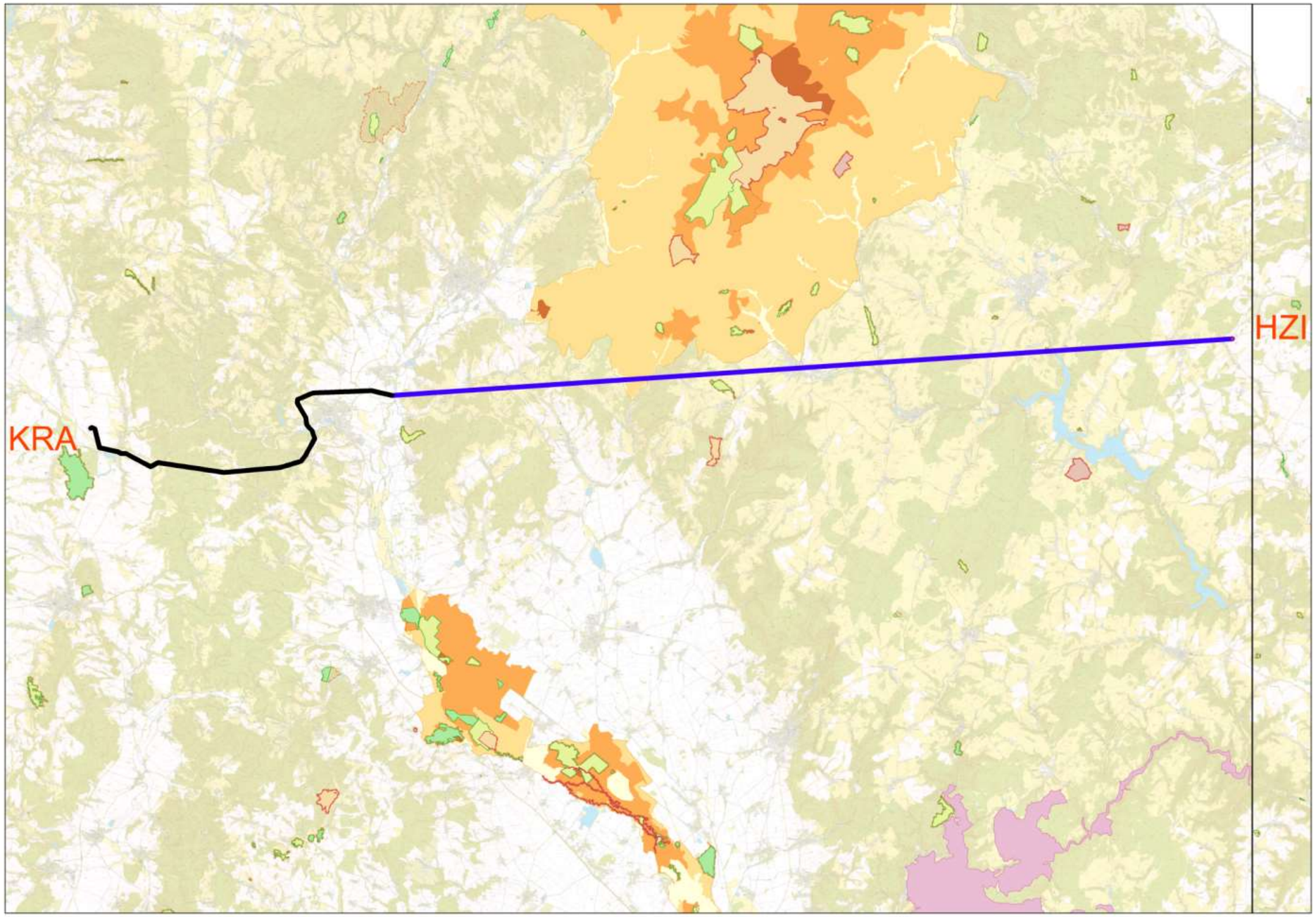
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Přímé spojení rozvoden



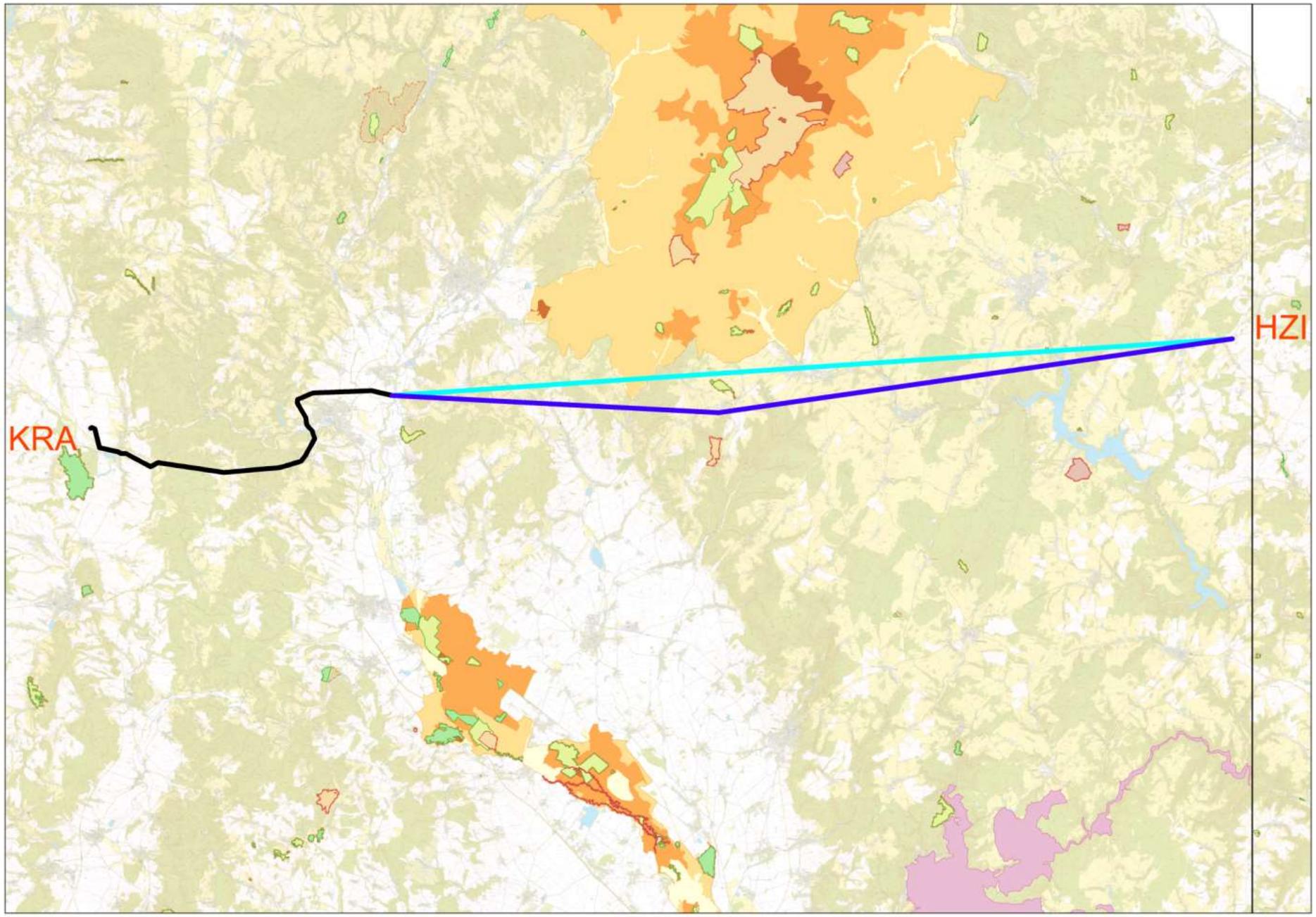
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Chráněné krajinné oblasti, přírodní rezervace



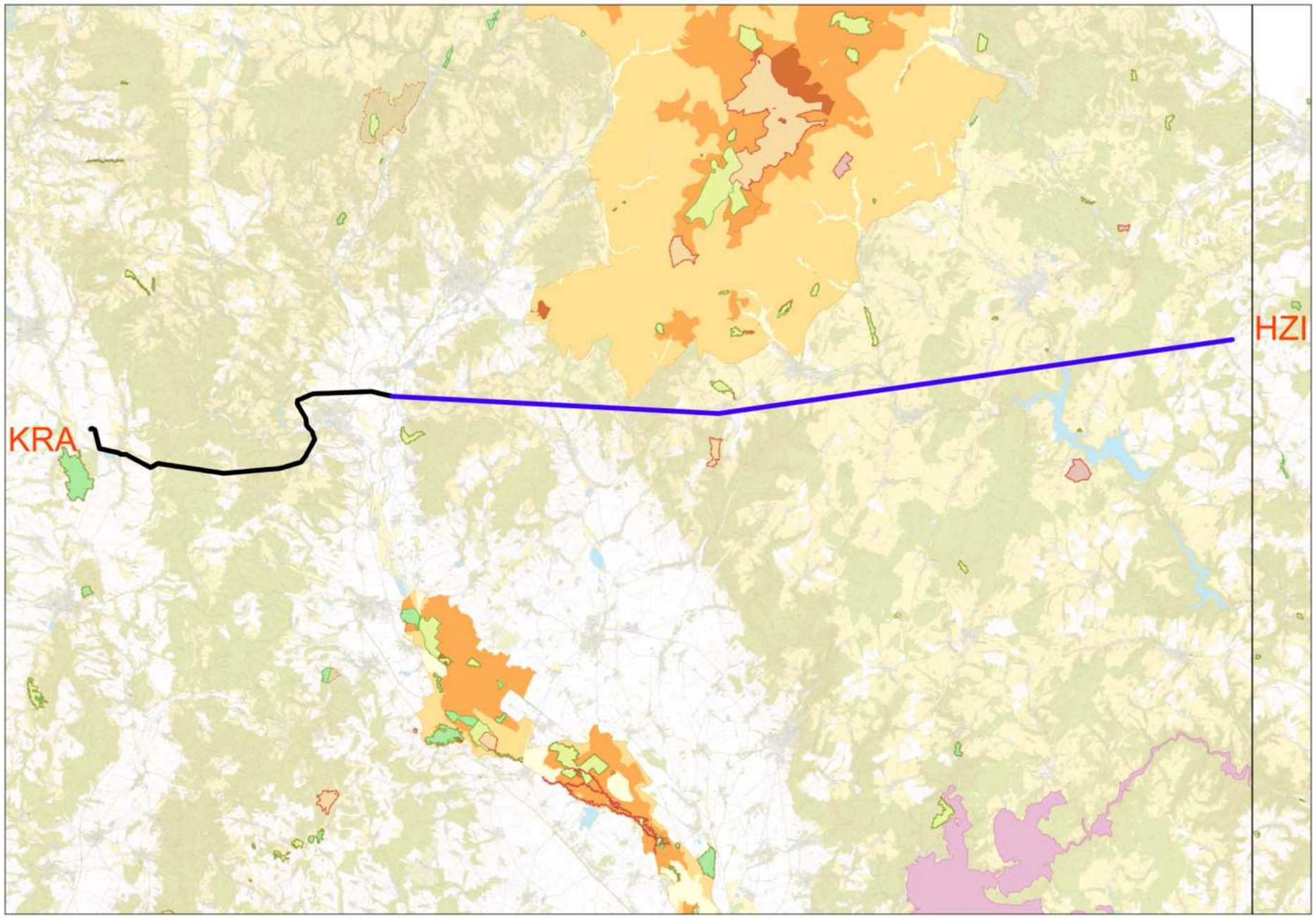
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Přizpůsobení trasy



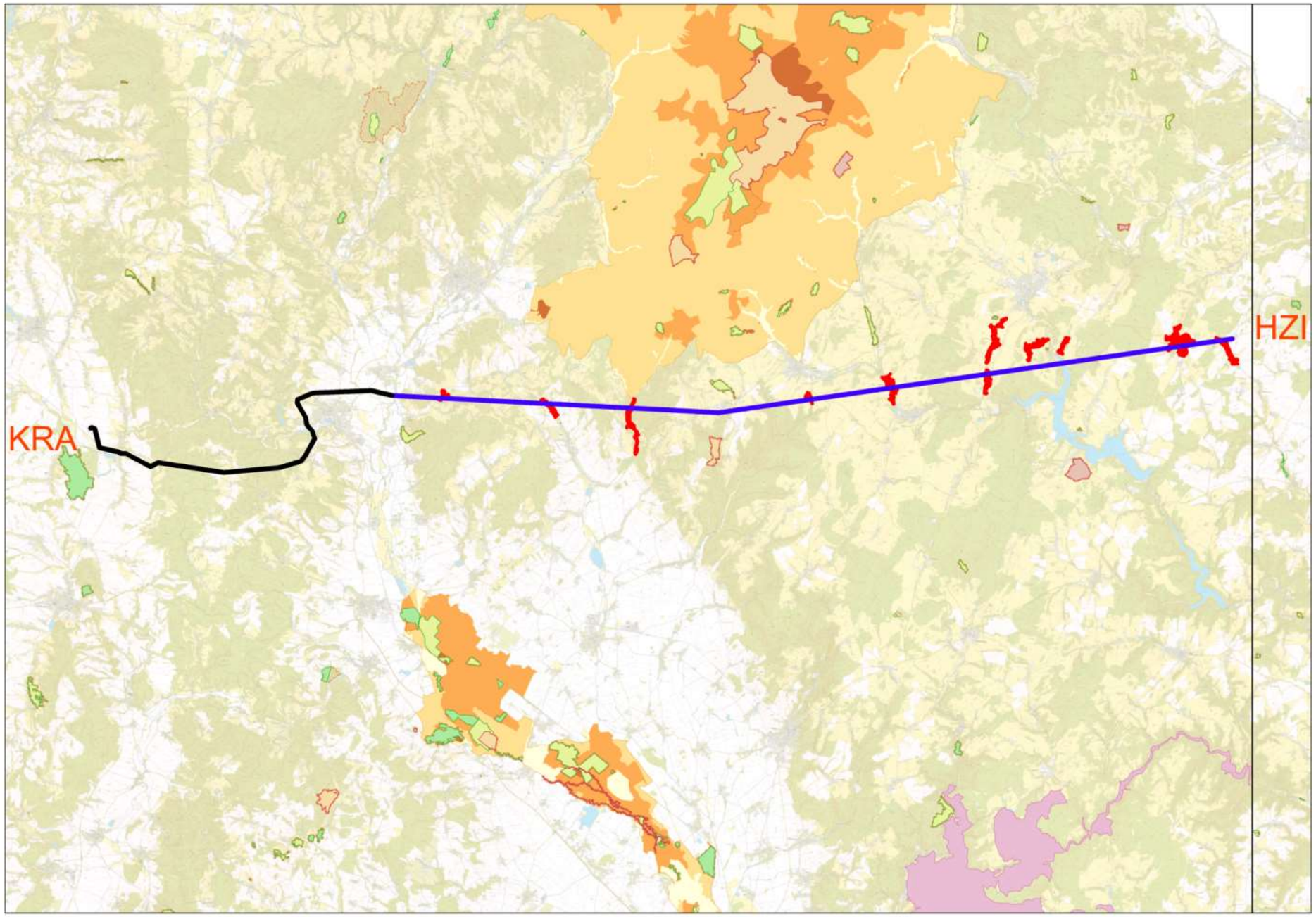
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Po úpravě



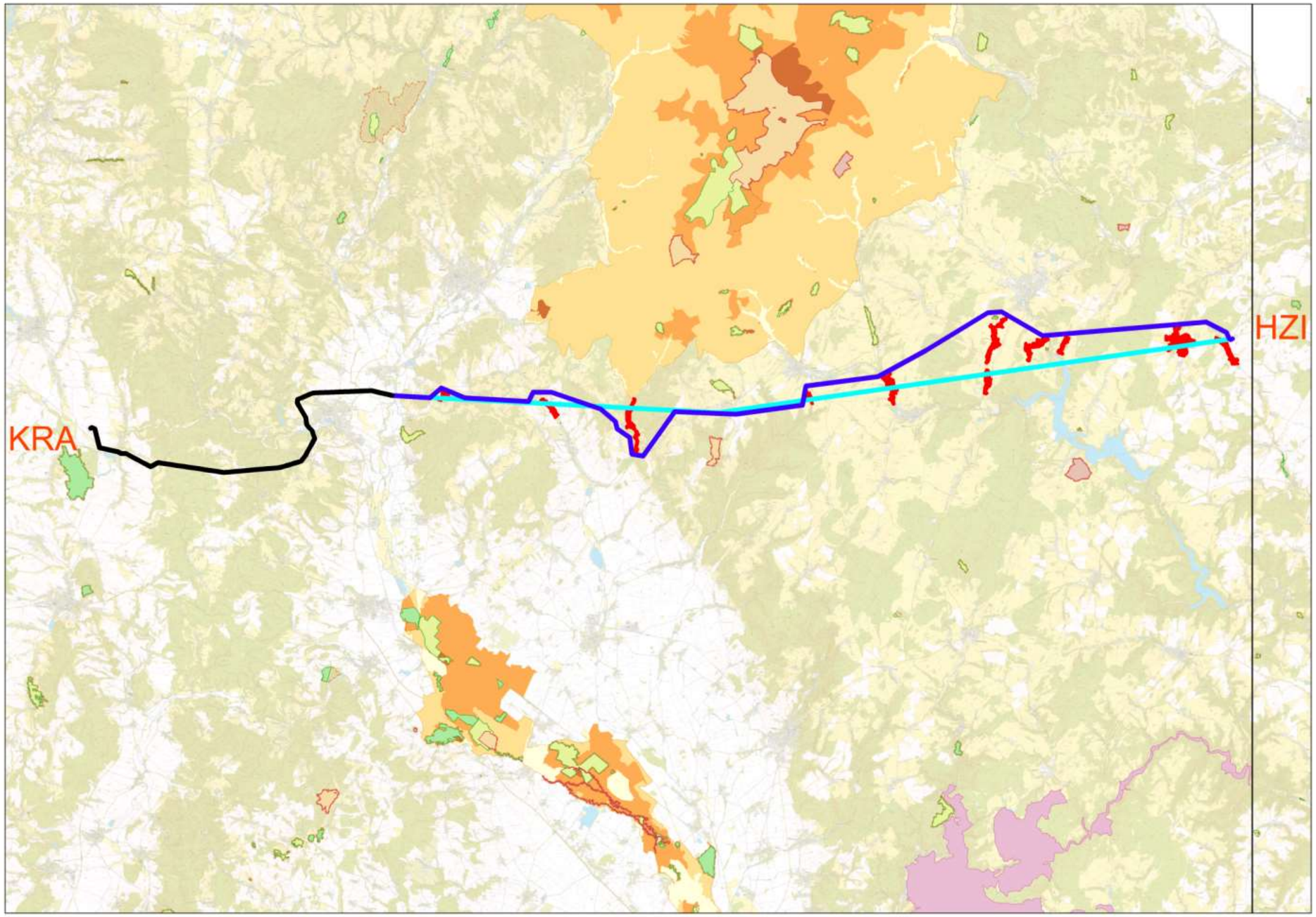
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Zastavěná území obcí



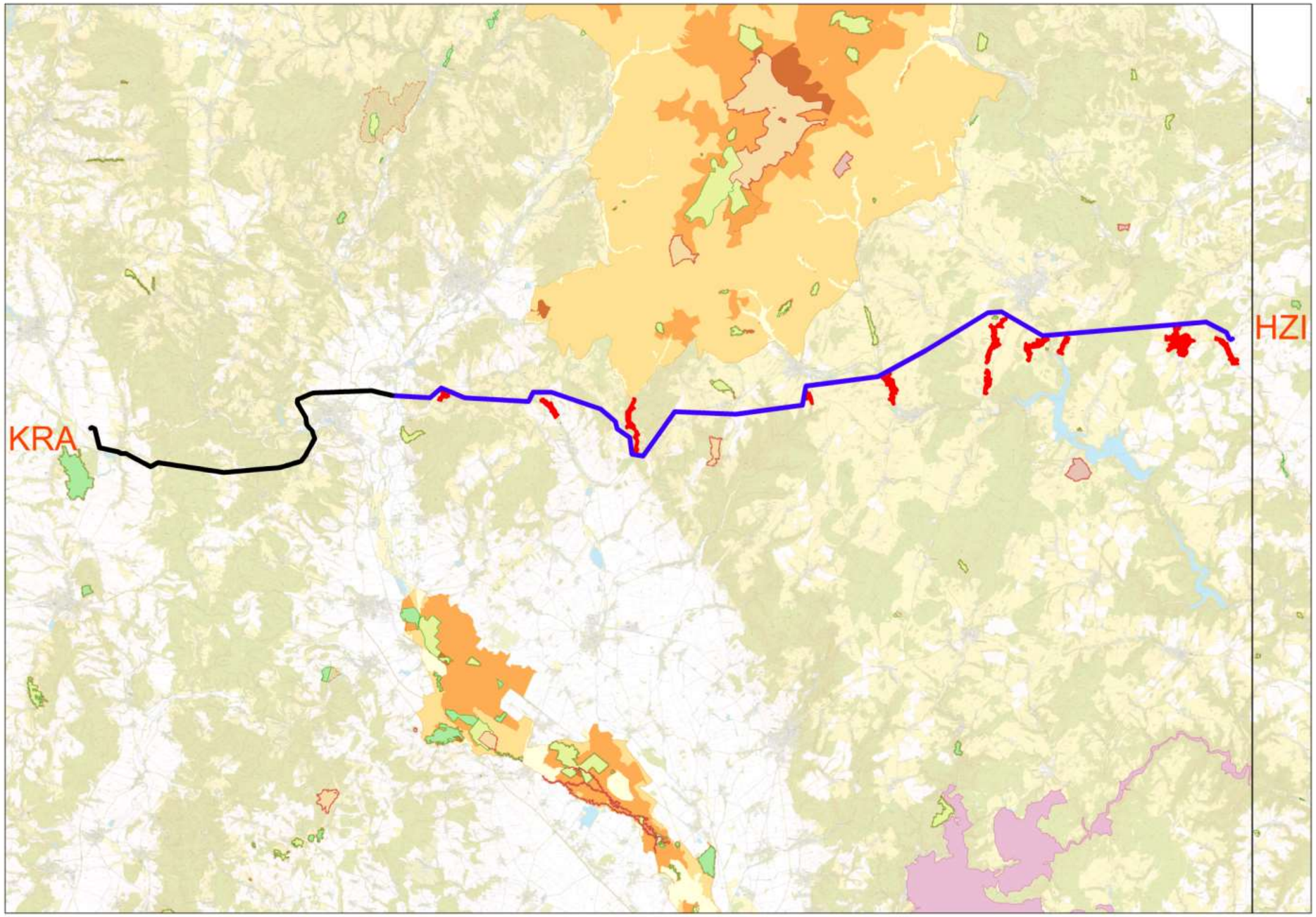
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Přizpůsobení trasy



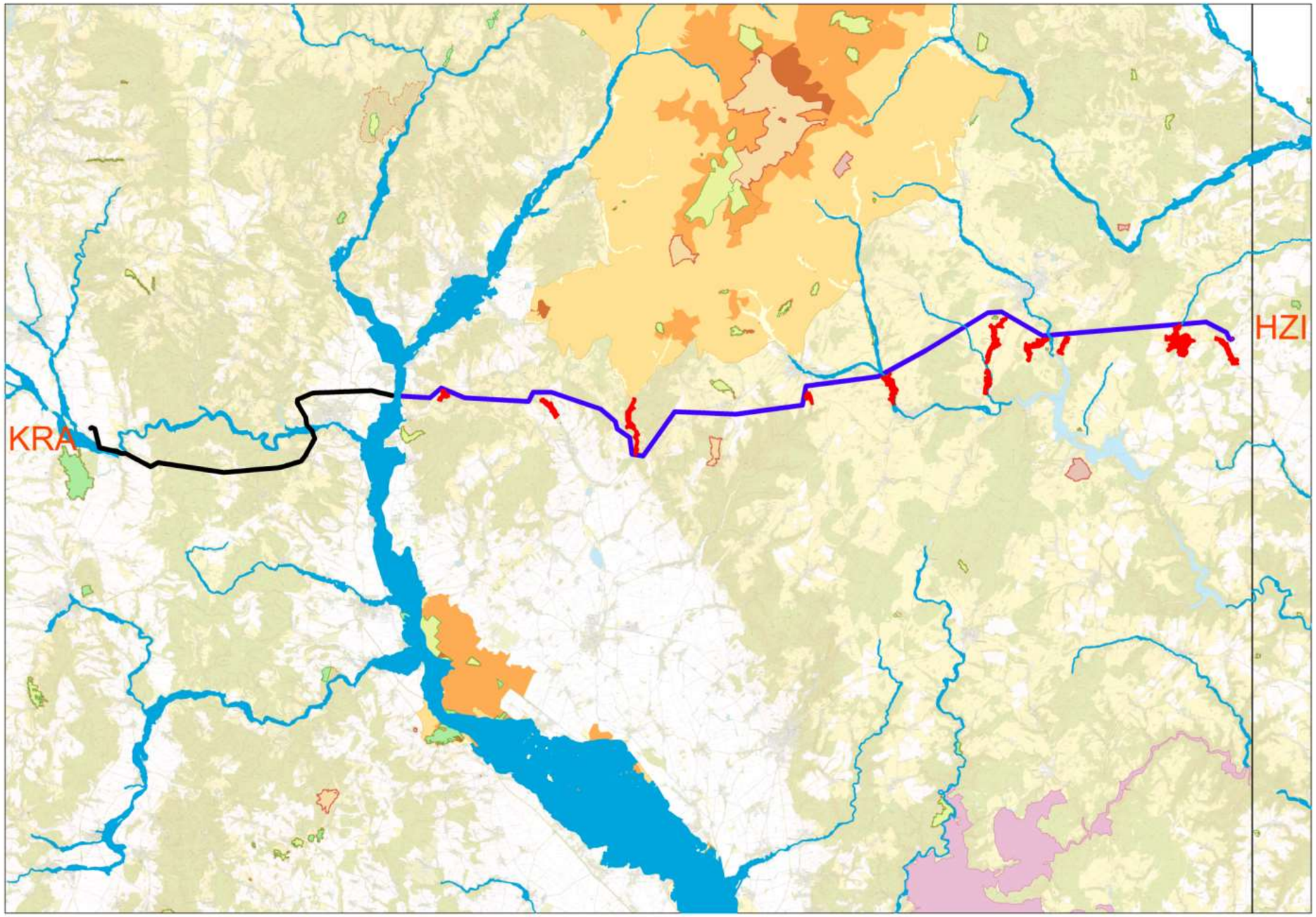
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Po úpravě



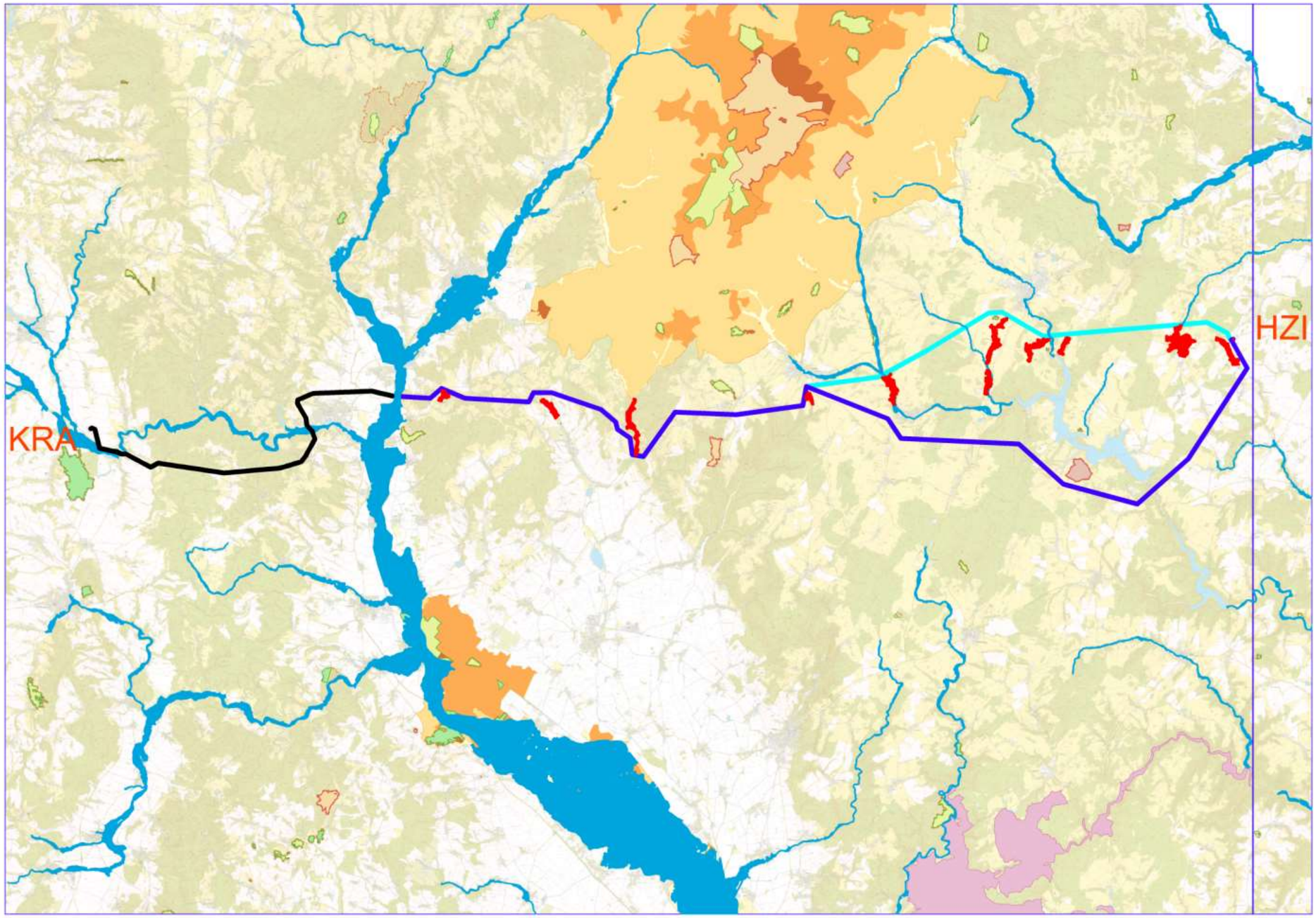
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Záplavová území



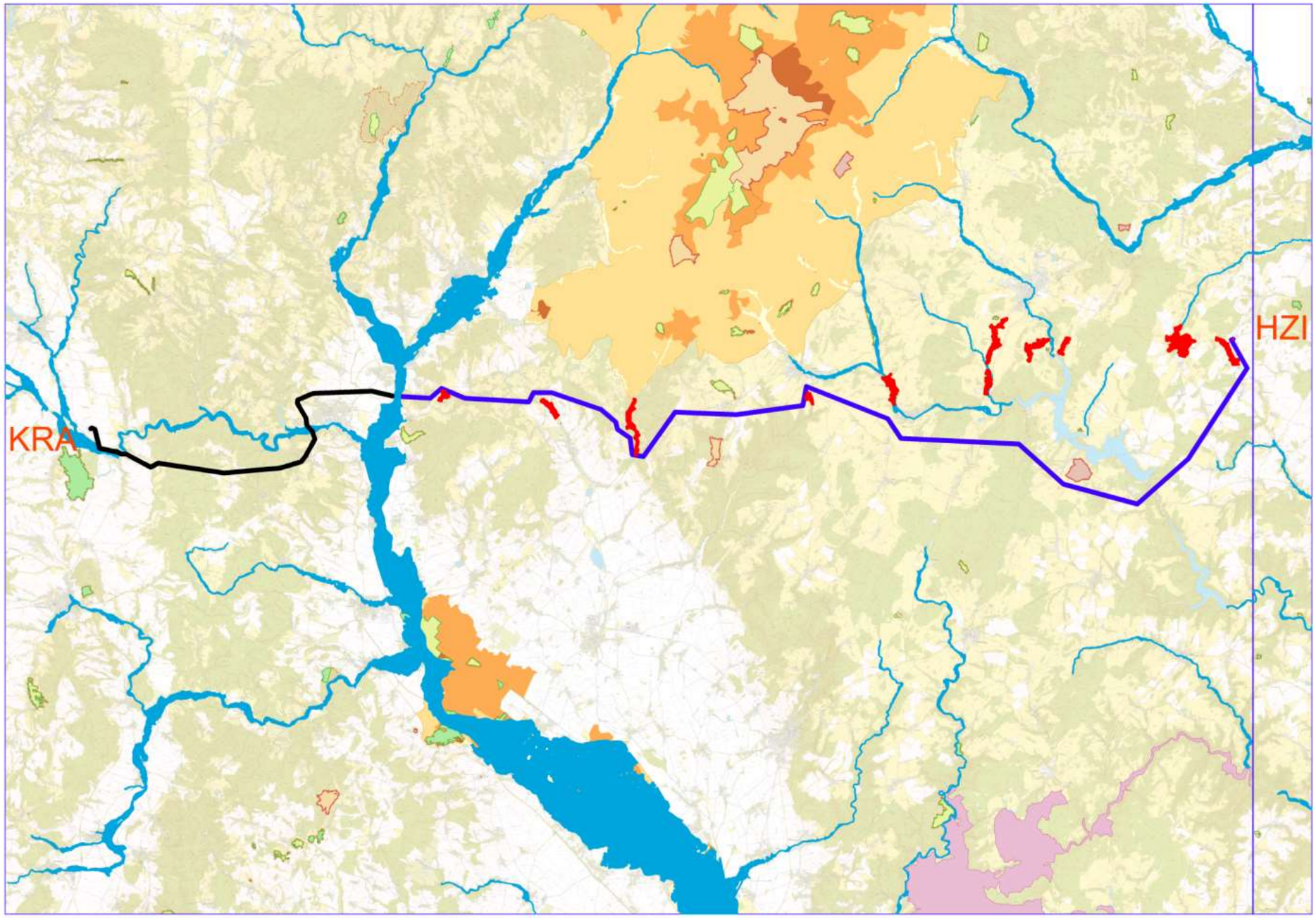
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Po úpravě



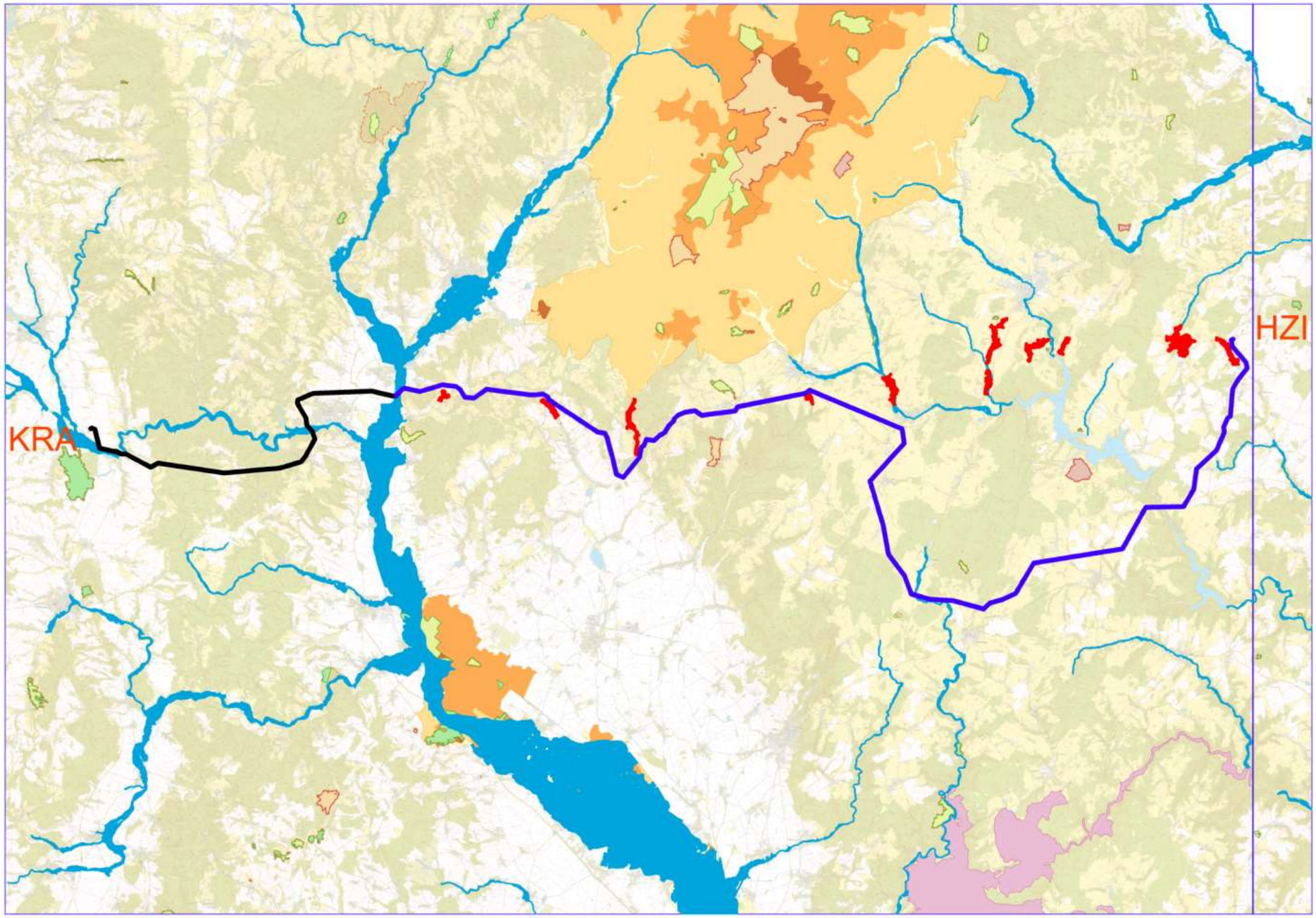
Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Záplavová území



Návrh trasy vedení 400 kV TR Krasíkov – TR Hladké Životice

Výsledný stav



DZA + DPS

Zásady, postupy a obtíže při projektování vedení přenosové soustavy

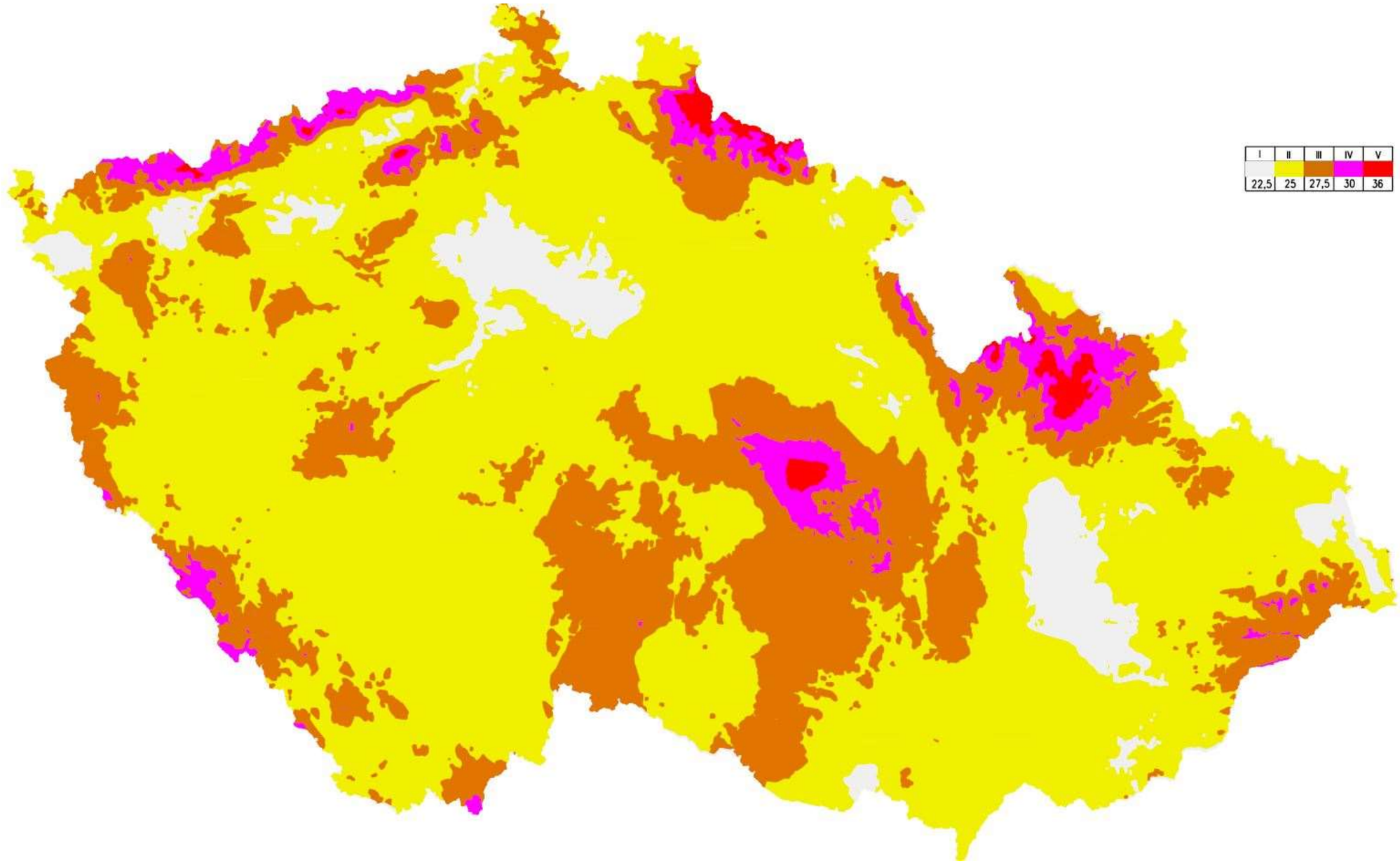
Zásady a postupy při projektování vedení PS

Obsah

1. Co musíme znát, než začneme projektovat
   - Vstupní data, nutné výpočty a posouzení
2. Hlavní části projektu
   - Montážní a projekční tabulky
   - Podélný profil
   - Stožárové konstrukce
   - Izolátorové závěsy
   - Další prvky na vedení

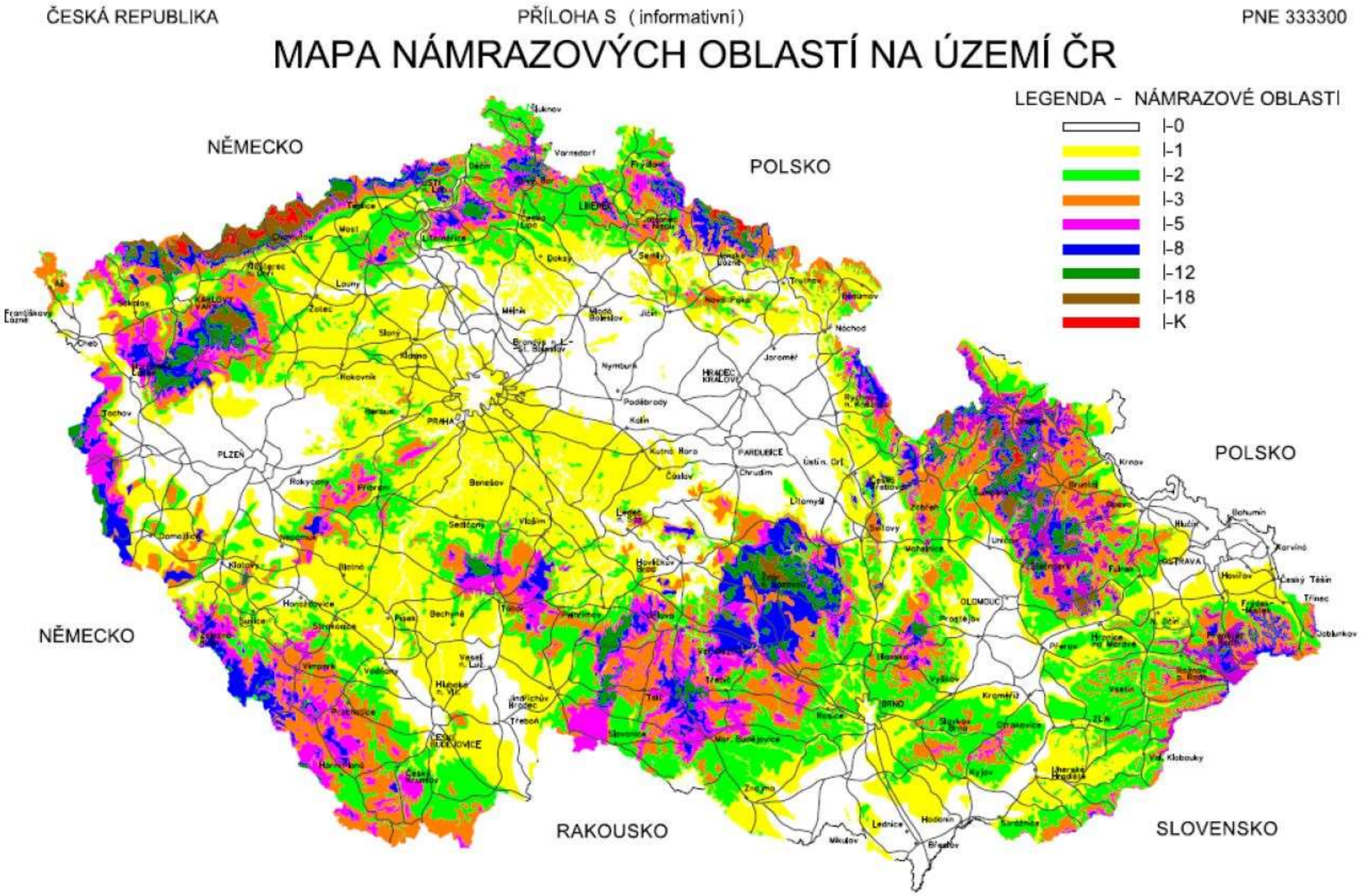
Zásady a postupy při projektování vedení PS

Mapa větrových oblastí



Zásady a postupy při projektování vedení PS

Mapa námrazových oblasti



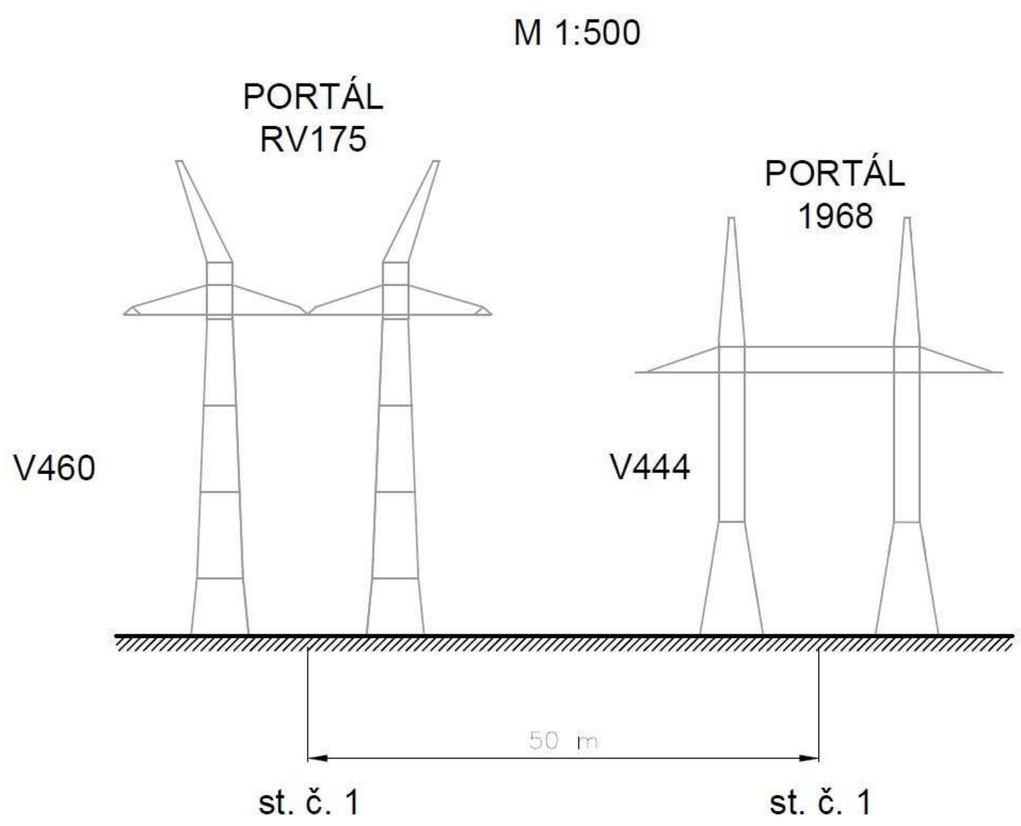
POZNÁMKA: Příloha S se vztahuje k 4.5.1.2.

ZPRACOVAL EGÚ BRNO a.s. V ROCE 2001

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Proudová nesymetrie

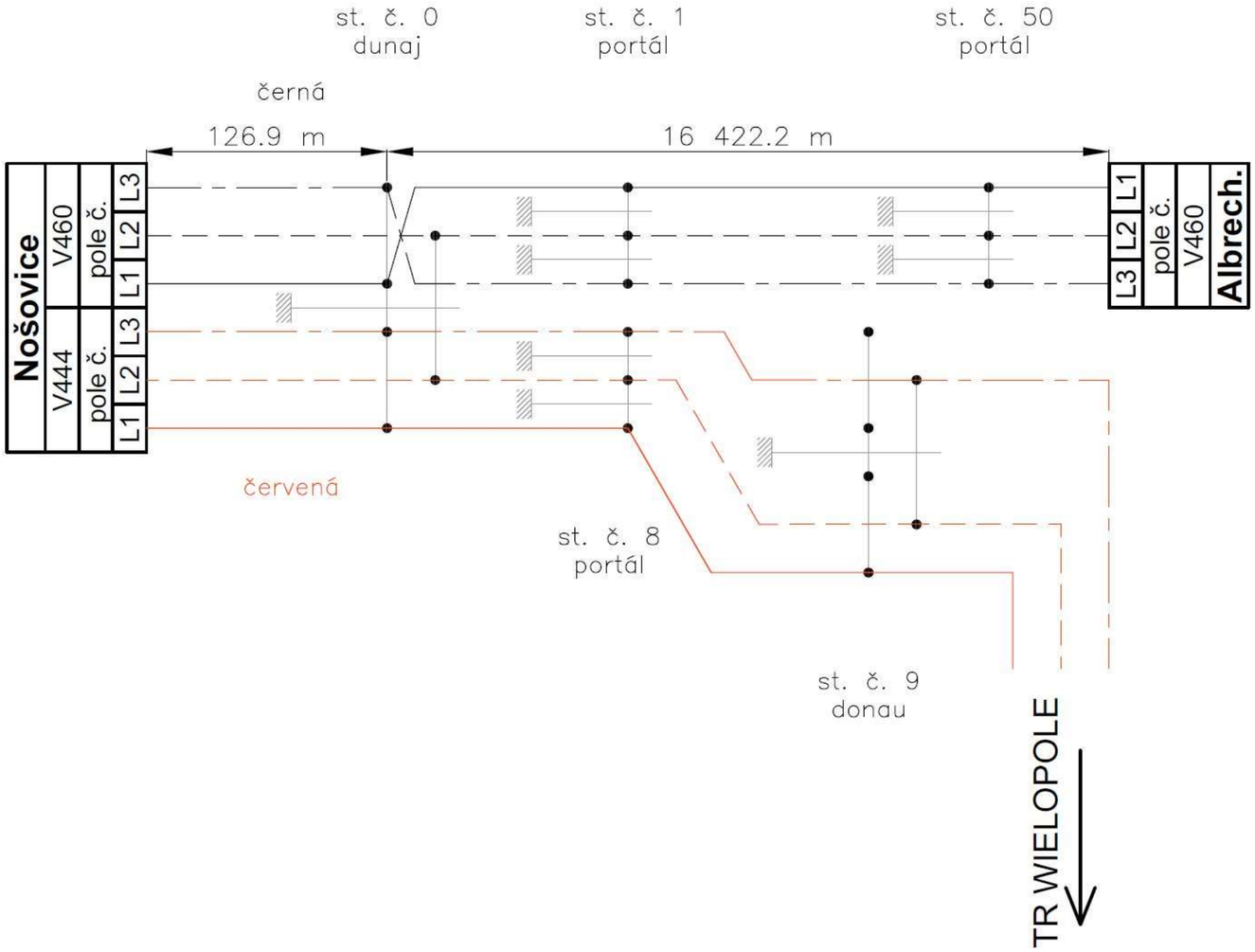
- Nesymetrie: vlivem vzájemných kapacit a indukčností vzniká na vedení napěťová a proudová nesymetrie
- Míra nesymetrie → poměr $3I_0/I_1$
  I_0 – netočivá složka
  I_1 – sousledná složka
- Vstupní data: parametry vodičů, vzájemné uspořádání (konfigurace), napěťová hladina, proudové zatížení, souběh s jiným vedením, délka vedení



Zásady a postupy při projektování vedení PS

Proudová nesymetrie

- Pokud by byla nesymetrie větší než 5% → nutno provést nápravná opatření: zákruty pro zrovnoměrnění parametrů fází
- Dle doporučení EGÚ



Zásady a postupy při projektování vedení PS

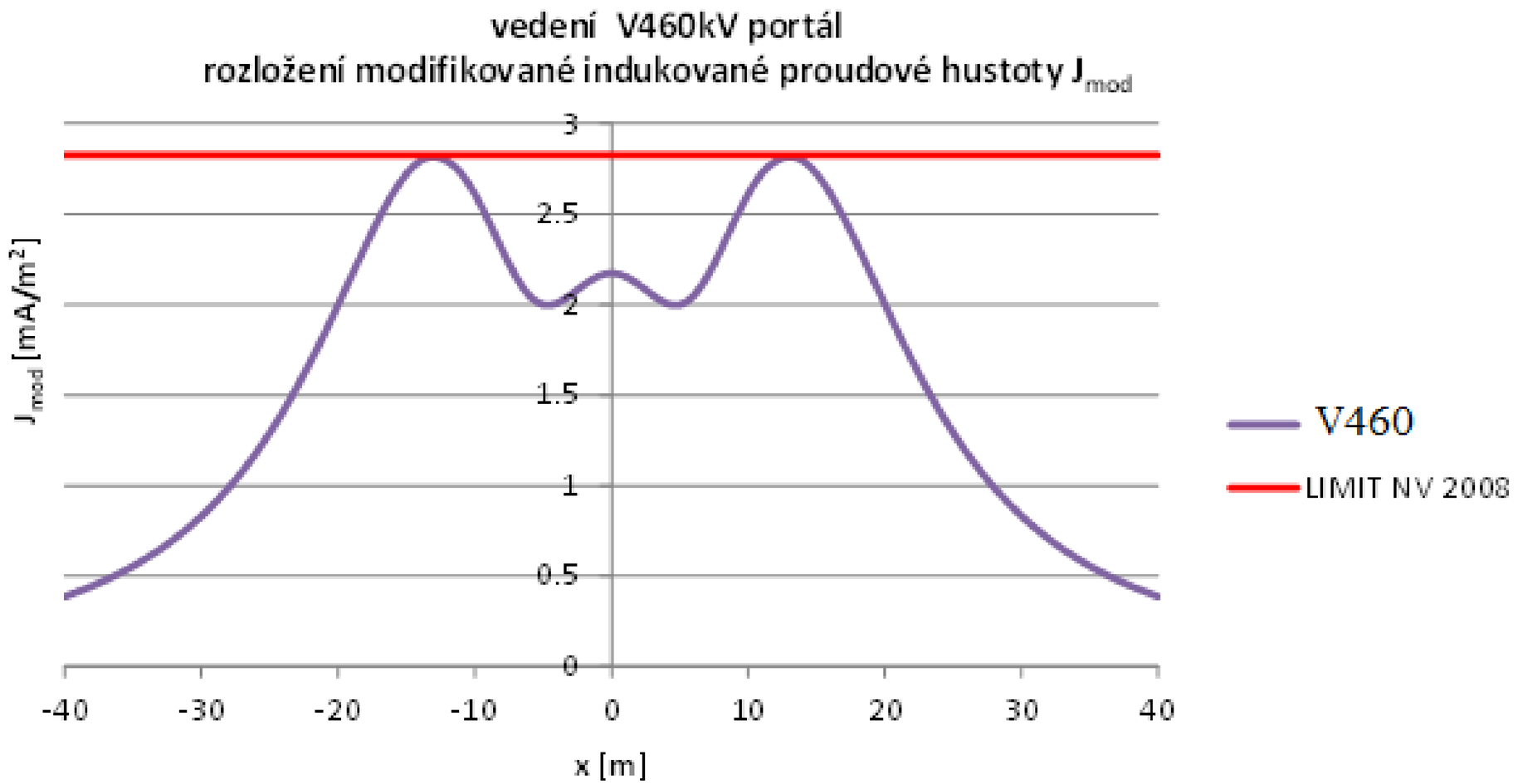
Hygienické limity – modifikovaná proudová hustota

- NV stanovuje přípustné limity neionizujícího záření pro zaměstnance a pro ostatní osoby
- Užívá se pojem „modifikovaná proudová hustota“ → indukovaná proudová hustota v lidské tkáni působením elektrického a magnetického pole
- Co vše ovlivňuje výpočet: souběhy vedení, průřezy vodičů, konfigurace (uspořádání), proudové zatížení, napětí
- Původní nařízení 1/2008 Sb., nyní 291/2015 Sb. Současné limity jsou „měkčí“
- Návrh dle 1/2008 – hygienické limity jsou výrazně přísnější než požadavek na elektrickou vzdálenost dle normy

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Hygienické limity – modifikovaná proudová hustota

- Nutno určit výšku vodičů nad terénem tak, aby nedošlo k překročení dovolených limitů modifikované proudové hustoty



Zásady a postupy při projektování vedení PS

Elektrické vzdálenosti

- Dle platné normy ČSN EN 50 341-1 se dělí na vnější a vnitřní
  - Vnitřní = vzdálenosti „na vedení“
  - Vnější = vzdálenosti „od vedení“

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Elektrické vzdálenosti - vnitřní

Tabulka 5.5 - Nejkratší vzdáleností D_{el} a D_{pp}

Nejvyšší napětí sítě U_s (kV)	D_{el1} (m) vnější	D_{el2} (m) vnitřní ke konstrukci	D_{el3} (m) vnitřní v okně stožáru	D_{el4} (m) vnitřní vodič-zemnicí lano	D_{pp} 1) (m) vnitřní i vnější vodič-vodič
123	1,0	1,0	1,1	1,0	1,2
245	2,0	1,9 2)	2,0 2)	1,8	2,2
420	3,0	2,8 2)	3,2 2)	2,5	3,7
420s	2,6	2,6	2,8	2,3	3,2

1) Vzdálenosti mezi fázovými vodiči stejného systému a k vodičům jiného systému nebo vedení elektrizační soustavy. Přísnější podmínky mohou být stanoveny v PS.

2) Označené vzdálenosti D_{el2} a D_{el3} mohou být kratší, pokud se prokáže zkouškami, že tyto vzdálenosti zajistí požadované hladiny výdržných napětí, uvedené v tabulkách 5.1 a 5.2, nebo pokud se přijmou vhodná opatření, která sníží maximální hodnoty přepětí na hodnoty výdržných napětí odpovídající zkráceným vzdálenostem D_{el2} a nebo D_{el3}.

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Elektrické vzdálenosti - vnější

Vzdálenost k zemi ve volné krajině (m)							
		Normální terénní profil			Skalní stěna nebo strmý svah		
		Volně přístupná místa			Zcela nepřístupný nebo znepřístupněná místa		
Zatěžovací stav	U_n (kV)	110	220	400	110	220	400
Nejvyšší návrhová teplota vodiče		6	7	8	3	4	5
Extrémní zatížení námrazou		6	7	8	3	4	5
Jmenovité zatížení větrem		6	7	8	3	4	5
Kombinované zatížení větrem a námrazou		6	7	8	3	4	5

Vstupní data pro projektování vedení

Záplavové oblasti

- Uvažuje se 100 letá voda (případně i jiné průtoky)
- Pokud vedení jde přes záplavovou oblasti a hrozí poškození stožárové konstrukce, budují se ledolamy
- Podmáčení, působení vody → zesílení základů a nadbetonování

Vstupní data pro projektování vedení

Spolehlivost vedení

- Pouze v poslední normě ČSN EN 50 341
- Vyšší spolehlivost → větší projektové rezervy
  - Referenční úroveň návratu zatížení 50 let
  - Úroveň 2 – 150 let (zastavěné oblasti)
  - Úroveň 3 – 500 let (zastavěné oblasti, vývody jaderných elektráren)

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Zatěžovací stavy a namáhání

- Normy definují zatěžovací stavy a únosnost pro jednotlivé prvky vedení (= namáhání)
- Pro správnou funkci vedení je nutné vyhovět všem předepsaným požadavkům

Zásady a postupy při projektování vedení PS

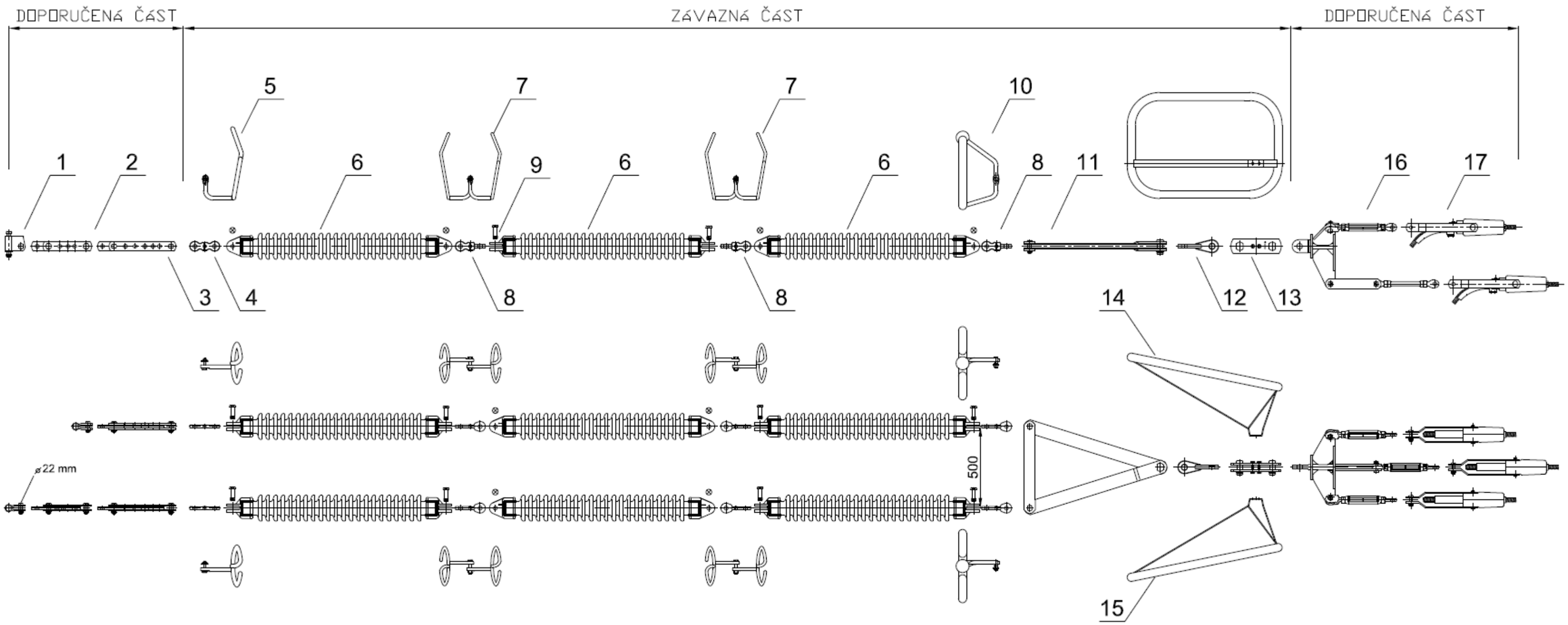
Zatěžovací stavy a únosnost – izolátorové závěsy

- Má-li IZ více připojovacích bodů, uvažuje se uvolnění zatížení v jednom z nich
- U vícenásobného IZ se předpokládá rovnoměrné rozložení tahu do jednotlivých řetězců
- Při přetržení jednoho řetězce vícenásobného IZ si musí mít zbývající řetězec/řetězce zachovat určitou pevnost (liší se dle materiálu izolátoru)
- Všechny pohyblivé spoje ve všech IZ musí být zatíženy tahem minimálně na 0,5 kN
- Dynamické účinky při přetržení jednoho řetězce se neuvažují

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Zatěžovací stavy a únosnost – izolátorové závěsy

- Příklad dvojitého kotevního izolátorového závěsu 400 kV



Zásady a postupy při projektování vedení PS

Zatěžovací stavy a únosnost – izolátorové závěsy

- Rozpěrka poz. 11 – zaručená únosnost (SML) 400 kN
  - Namáhána plným tahem vodičů
    Maximální povolený tah 400/1,80 = 222,2 kN
    Maximální tah v jednom vodiči 222,2/3 = 74,1 kN
- Keramický izolátor poz. 6 – SML 210 kN
  - Za normálního stavu namáhán polovinou tahu.
    Maximální povolený tah 210/1,80 = 116,6 kN
    Pro dva řetězce tedy 2×116,6 = 233,2 kN
    Maximální tah v jednom vodiči 233,2/3 = 77,7 kN
  - Při přetržení jednoho řetězce se uvažuje nižší pevnost ve zbývajícím řetězci: 210/1,35 = 155,6 kN
    Maximální tah v jednom vodiči 155,6/3 = **51,9** kN

Nejvyšší tah ve vodiči je tedy (mimo jiné) vymezen pevností zbývajících řetězců kotevního IZ, při přetržení jednoho řetězce!

Koeficient 1,35 platí pouze pro keramické izolátory. Pro sklo a kompozitní izolátory se používá koeficient 1,1

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Zatěžovací stavy a únosnost – vodiče

- Maximální zatížení vodiče nesmí překročit 55 % RTS
- Dynamické účinky při přetržení vodiče se neuvažují
- Při návrhu se uvažují tyto zatěžovací stavy vodičů:
  - Nejvyšší teplota vodiče, nejnižší teplota vodiče
  - Bezvětří, jmenovité zatížení větrem, extrémní zatížení větrem
  - Extrémní zatížení námrazou, nerovnoměrné zatížení námrazou (50 % extrémního zatížení vodičů námrazou pouze v určitých rozpětích)
  - Kombinovaná zatížení:
    - větrem a námrazou
    - nestejným větrem a námrazou

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Zatěžovací stavy – stožárové konstrukce

- Pro stožárové konstrukce se uvažují vybrané zatěžovací stavy, při jejichž vyhovění se přepokládá zachování funkce po celou dobu plánované životnosti
- Pro konstrukce typu Portál se uvažují další, zvláštní zatěžovací stavy
- Vybrané stavy:
  - Extrémní zatížení větrem
  - Rovnoměrné extrémní zatížení námrazou
  - Rovnoměrné zatížení námrazou
  - Nerovnoměrné zatížení námrazou
  - Kombinovaná zatížení:
    - Rovnoměrné zatížení extrémní námrazou a zatížení větrem o vysoké pravděpodobnosti
    - Rovnoměrné jmenovité zatížení námrazou a zatížení větrem o rychlosti s nízkou pravděpodobností
  - Minimální teplota, bez dalších klimatických zatížení
  - Bezpečnostní zatížení, montážní a údržbová zatížení
  - Bezpečnostní zatížení, vztahující se k tíze montérů

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Vstupní data - shrnutí

- Proudová zatížitelnost vedení → průřez FV
- Zkratové poměry → volba průřezu ZL a KZL
- Výpočet proudové nesymetrie → zákrut(y) na vedení
- Výpočet hygienických limitů NIZ → výška vodičů na terénem
- Větrové a námrazové oblasti → ovlivňuje volbu tahu vodičů
- Mapy záplavových oblastí → umístění SK
- Oblasti znečištění → délka izolátorového řetězce
- Spolehlivost vedení → Vliv na tahy vodičů
- Zatěžovací stavy → vymezují limity namáhání

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Jádro návrhu vedení

Projekční tabulky

- Parametry vodičů
- Stožárové konstrukce
- Izolátorové závěsy
- Klimatické podmínky (normativní požadavky)

Podélný profil

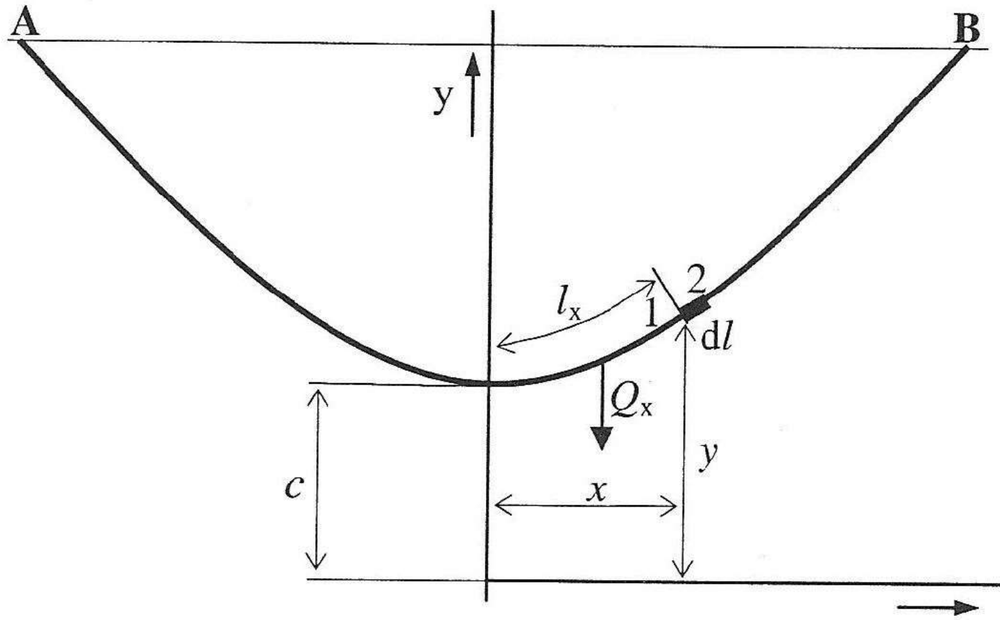
- Vzdálenosti od terénu
- Vzdálenosti od objektů
- Vzdálenosti od vodičů křižovaných vedení

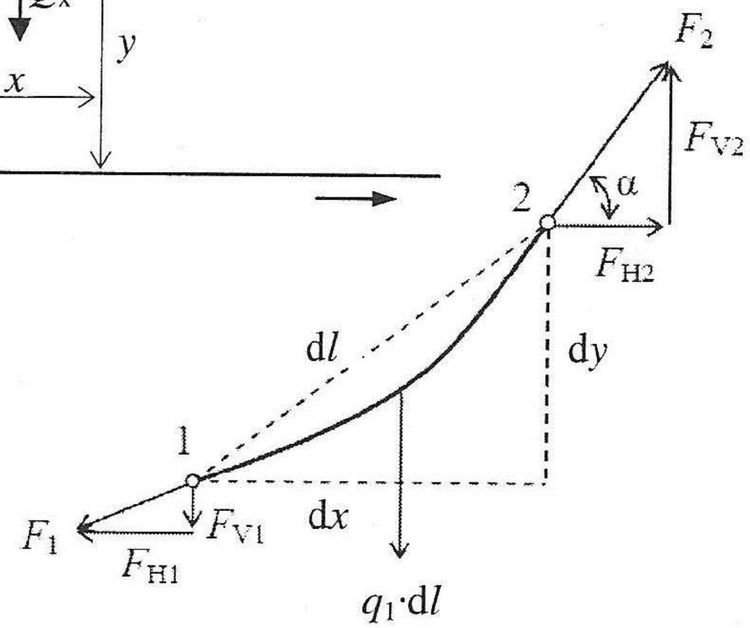
Zásady a postupy při projektování vedení PS

Mechanika řetězovky

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}$$

$$c = \frac{F_H}{q_1} = \frac{\sigma_H}{\gamma} \ [\mathrm{m}]$$





x	x-ová souřadnice bodu řetězovky	[m]
y	y-ová souřadnice bodu řetězovky	[m]
c	parametr řetězovky	[m]
F_H	horizontální složka síly	[kN]
σ_H	horizontální složka namáhání	[MPa]
q_1	vlastní měrná tíha vodiče	[N.m^{-1}]
γ	vlastní měrná tíha vodiče	[N.cm^{-3}]

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Stavová rovnice

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[\frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left(\frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right) + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot (a \cdot z_1)^2$$

a	délka rozpětí	[m]
E	modul pružnosti	[MPa]
z_0 / z_1	přetížení	[-]
α	koeficient tepelné roztažnosti	[K^{-1}]
γ	vlastní měrná tíha vodiče	[$N.cm^{-3}$]
$\vartheta_0 / \vartheta_1$	teplota vodiče	[°C]
$\sigma_{H0} / \sigma_{H1}$	horizontální složka namáhání	[MPa]

Index 0 → Počáteční stav
Index 1 → Hledaný stav

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Projekční a montážní tabulky – vstupní data

Projekční tabulky dle EN 50341-2-19, verze 1.10		
List	1	
Kotevní úsek	26 - 31	
Úroveň spolehlivosti 1 (doba návratu klimatických zatížení 50 let)		
Lano	490-AL1/64-ST1A	
Námrazová oblast	ČSN EN 50341-2-19 I1	
Větrová oblast	ČSN EN 1991-1-4 - II	
II - Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stro		
Napěťová hladina	400 kV	
Úhel směru větru	0	°
Referenční hodnoty		
Mechanické napětí / tah	Tah	
Referenční tah	33,50	kN
Referenční mechanické napětí	60,49	MPa
Rerenční teplota	-5	
Referenční přetížení	1	-
Volitelná teplota	55	°C

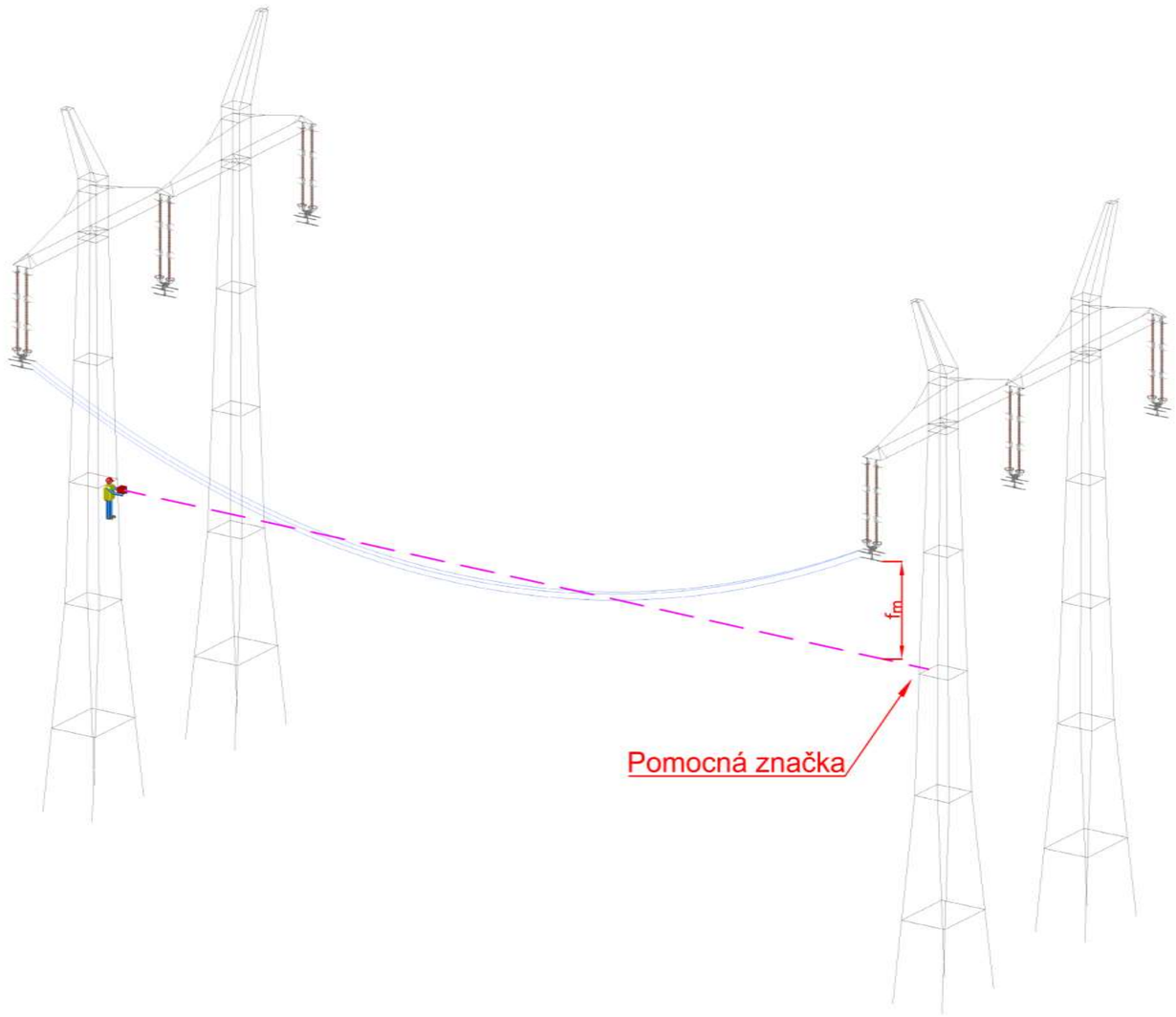
Výpočet výšek pro				Všechny fáze					
číslo stožáru	nadm. výška	typ stožáru	typ závěsu	výška konzol L1	L2	L3	výška rozdíl	tětiva	h
26	338,32	P_RV175	TK1	22	22	22	3,0	209,6	22,0
27	339,48	P_N+1	DN1	28,9	28,9	28,9	-9,4	321,7	23,8
28	323,32	P_N+8	DN1	35,7	35,7	35,7	23,3	488,4	30,6
29	328,58	P_N+26	DN1	53,7	53,7	53,7	-13,9	175,4	48,6
30	324,68	P_N+16	DN1	43,7	43,7	43,7	-26,9	256,2	38,6
31	314,37	P_RV120	TK1	22	22	22			22,0

Průhyby pro jednotlivá rozpětí f (m)																		
T (°C)	-30	-20	-10	-5	-5	-5	-5	-5	0	10	20	30	40	50	60	70	80	55
209,6	2,63	2,78	2,93	3,00	3,37	3,32	3,45	3,32	3,07	3,22	3,36	3,50	3,63	3,76	3,89	4,02	4,15	3,83
321,6	6,19	6,54	6,89	7,06	7,93	7,82	8,13	7,82	7,24	7,58	7,91	8,23	8,55	8,87	9,17	9,47	9,77	9,02
487,8	14,25	15,06	15,87	16,27	18,27	18,02	18,73	18,01	16,66	17,45	18,21	18,97	19,71	20,43	21,14	21,83	22,51	20,78
174,8	1,83	1,93	2,04	2,09	2,34	2,31	2,40	2,31	2,14	2,24	2,34	2,43	2,53	2,62	2,71	2,80	2,88	2,66
254,8	3,88	4,11	4,32	4,43	4,98	4,91	5,10	4,91	4,54	4,75	4,96	5,17	5,37	5,56	5,76	5,94	6,13	5,66

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Montážní tabulky

- Obsahují údaje potřebné pro tažení vodičů a jejích následné vyregulování (=dosažení správného průhybu a tahu)



Zásady a postupy při projektování vedení PS

Montážní tabulky - výstup

Lano **185-AL1/43-ST6C**

průměr d (mm)	průřez S (mm^2)	hmotnost m ($kg \cdot m^{-1}$)	měrná tíha γ ($N \cdot cm^{-3}$)	modul pruž. E (MPa)	teplotní sou. α (K^{-1})	dov. nam. σ_d (MPa)	dov. tah t_d (kN)	pevnost t_p (kN)	námrazek q_n ($N \cdot m^{-1}$)
19,60	227,83	0,8562256	0,0369	80 500	1,7867E-05	153,75	35,03	92,18	0,8288

Námrazová oblast **ČSN 34 1100 / 74 - L** námrazek γ = 900 $kg \cdot cm^{-3}$

základní konečný tah	t =	**23,40**	kN	základní konečné namáhání	σ =	**102,71**	MPa
teplota	T =	**-5**	°C	přetížení	z =	**1,968**	

Výpočet pro hodnotu středního rozpětí $a_{stř.}$= **331,0** m

T	(°C)	-30	-20	-15	-10	-5	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
q_n	(kgm^{-1}	0	0	0	0	0	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tl. n.	(mm)	0	0	0	0	0	9,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
τ	(°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z	(-)	1	1	1	1	1	1,97	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
σ	(MPa)	72,35	68,62	66,91	65,29	63,77	107,70	62,33	60,96	59,66	58,44	57,27	56,16	55,10	54,09	53,13	52,21
t	(kN)	16,48	15,63	15,24	14,88	14,53	24,54	14,20	13,89	13,59	13,31	13,05	12,79	12,55	12,32	12,10	11,90
c	(m)	1963	1862	1815	1772	1730	1485	1691	1654	1619	1586	1554	1524	1495	1468	1442	1417

Průhyby pro jednotlivá rozpětí f (m)

T (°C)	-30	-20	-15	-10	-5	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
251,4	4,03	4,25	4,36	4,47	4,57	5,33	4,68	4,78	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59
336,7	7,22	7,62	7,81	8,00	8,20	9,55	8,39	8,58	8,76	8,95	9,13	9,31	9,49	9,67	9,84	10,01
347,8	7,71	8,13	8,34	8,54	8,75	10,20	8,95	9,15	9,35	9,55	9,74	9,94	10,13	10,32	10,50	10,69
357,1	8,13	8,57	8,79	9,01	9,22	10,75	9,44	9,65	9,86	10,07	10,27	10,47	10,68	10,88	11,07	11,27
1293																

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Projekční tabulky

- Obsahuje stejné typy údajů, jako montážní tabulky, **ale v době předpokládaného konce životnosti vodičů**
- Uvažuje se stav po 30 letech
- **V důsledku tečení vodičů budou na vedení větší průhyby a menší tahy než při instalaci**
- Uvažované stavy
  - Různé teploty vodiče <-40°C; … ;+80°C>
  - Zatížení námrazou
  - Zatížení větrem
  - Kombinovaná zatížení
  - Zvláštní stavy (námrazek jen v poli křižovatky)

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Projekční tabulky - výstup

Lano **185-AL1/43-ST6C**

průměr d (mm)	průřez S (mm^2)	hmotnost m ($kg \cdot m^{-1}$)	měrná tíha γ ($N \cdot cm^{-3}$)	modul pruž. E (MPa)	teplotní sou. α (K^{-1})	dov. nam. σ_d (MPa)	dov. tah t_d (kN)	pevnost t_p (kN)	námrazek q_n ($kg \cdot m^{-1}$)
19,60	227,83	0,8562256	0,0369	80 500	1,7867E-05	146,06	33,28	92,18	0,8288

Námrazová oblast **ČSN 34 1100 / 74 - L** námrazek γ = 900 $kg \cdot cm^{-3}$

základní konečný tah	t =	**23,40**	kN	základní konečné namáhání	σ =	**102,71**	MPa
teplota	T =	**-5**	°C	přetížení	z =	**1,968**	

Výpočet pro hodnotu středního rozpětí $a_{stř.}$= **331,0** m

T	(°C)	-30	-20	-10	-5	-5	-5	-5	-5	0	10	20	30	40	60	80	55
q_n	(kgm^{-1}	0	0	0	0	0,83	0	0,83	2,49	0	0	0	0	0	0	0	0
tl. n.	(mm)	0	0	0	0	9,93	0	9,93	21,4	0	0	0	0	0	0	0	0
v	(ms^{-1})	0	0	0	0	0	33,5	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	(Nm^{-1})	0	0	0	0	0	10,1	7,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
τ	(°)	0	0	0	0	0	50°18'	24°48'	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z	(-)	1	1	1	1	1,97	1,57	2,17	3,9	1	1	1	1	1	1	1	1
σ	(MPa)	66,91	63,77	60,96	59,66	102,71	85,75	110,74	173,16	58,44	56,16	54,09	52,21	50,49	47,47	44,89	48,18
t	(kN)	15,24	14,53	13,89	13,59	23,40	19,54	25,23	39,45	13,31	12,79	12,32	11,90	11,50	10,82	10,23	10,98
c	(m)	1815	1730	1654	1619	1416	1487	1386	1204	1586	1524	1468	1417	1370	1288	1218	1307

Průhyby pro jednotlivá rozpětí f (m)

T (°C)	-30	-20	-10	-5	-5	-5	-5	-5	0	10	20	30	40	60	80	55
251,4	4,36	4,57	4,78	4,89	5,59	5,32	5,71	6,58	4,99	5,19	5,39	5,59	5,78	6,15	6,50	6,06
336,7	7,81	8,20	8,58	8,76	10,02	9,54	10,24	11,79	8,95	9,31	9,67	10,01	10,36	11,02	11,65	10,86
347,8	8,34	8,75	9,15	9,35	10,69	10,19	10,93	12,59	9,55	9,94	10,32	10,69	11,05	11,76	12,44	11,59
357,1	8,79	9,22	9,65	9,86	11,27	10,74	11,52	13,27	10,07	10,47	10,88	11,27	11,65	12,40	13,11	12,21

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Projekční a montážní tabulky - srovnání

Montážní tabulky

Průhyby pro jednotlivá rozpětí f (m)

T (°C)	-30	-20	-15	-10	-5	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
251,4	4,03	4,25	4,36	4,47	4,57	5,33	4,68	4,78	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59
336,7	7,22	7,62	7,81	8,00	8,20	9,55	8,39	8,58	8,76	8,95	9,13	9,31	9,49	9,67	9,84	10,01
347,8	7,71	8,13	8,34	8,54	8,75	10,20	8,95	9,15	9,35	9,55	9,74	9,94	10,13	10,32	10,50	10,69
357,1	8,13	8,57	8,79	9,01	9,22	10,75	9,44	9,65	9,86	10,07	10,27	10,47	10,68	10,88	11,07	11,27
1293																

Projekční tabulky

Průhyby pro jednotlivá rozpětí f (m)

T (°C)	-30	-20	-10	-5	-5	-5	-5	-5	0	10	20	30	40	60	80	55
251,4	4,36	4,57	4,78	4,89	5,59	5,32	5,71	6,58	4,99	5,19	5,39	5,59	5,78	6,15	6,50	6,06
336,7	7,81	8,20	8,58	8,76	10,02	9,54	10,24	11,79	8,95	9,31	9,67	10,01	10,36	11,02	11,65	10,86
347,8	8,34	8,75	9,15	9,35	10,69	10,19	10,93	12,59	9,55	9,94	10,32	10,69	11,05	11,76	12,44	11,59
357,1	8,79	9,22	9,65	9,86	11,27	10,74	11,52	13,27	10,07	10,47	10,88	11,27	11,65	12,40	13,11	12,21

Příklad srovnání: první rozpětí (251,4 m), teplota 0 °C:
MT: průhyb 4,68 m
PT: průhyb 4,99 m
Rozdíl je 0,31 m → ten není zanedbatelný!

Zásady a postupy při projektování vedení PS

Historické okénko – montážní tabulky z roku 1965

II. námr. oblast — Tabulka č. 14

EGV — namáhání lana 450 Alfe 6 — podle normy ČSN 024210 – 1963

Max. namáhání σ_M = 9,1 kg/mm², ($c = \frac{\sigma_M}{\gamma z} = \frac{9,1}{0,00345 \cdot 1,62} = 1630$ m)
při -5°C a přídavném zatížení q_2 = ... g/m
γ = 0,00345 kg/m/mm², E = 7500 kg/mm², α = 19,6 · 10⁻⁶

$$\sigma_{M2}^3 + \sigma_{M2}^2 \left[3,72 \cdot 10^{-3} \left(\frac{a z_1}{\sigma_{M1}}\right)^2 - \sigma_{M1} + 0,1462 (\theta_2 - \theta_1)\right] = 3,72 \cdot 10^{-3} (a z_2)^2$$

Přetížení z = $\frac{q_2}{q_1}$ = námrazek 1113 g/m ..... z = 1,62
-"- 2780 g/m ..... z = 2,55
vítr ..... kg/m² ..... z = ...

Namáhání při kterém je průhyb stejný jako při přídavném zatížení

$$\sigma_{M1} = \frac{\sigma_{M1}}{z_1} = \frac{9,1}{1,62} = 5,62 \text{ kg/mm}^2$$

při teplotě $\theta_2 = \frac{z_1 - 1}{z_1} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \sigma_{M1} + \theta_1 = 2,61 \cdot 9,1 - 5 = 18,8$ °C

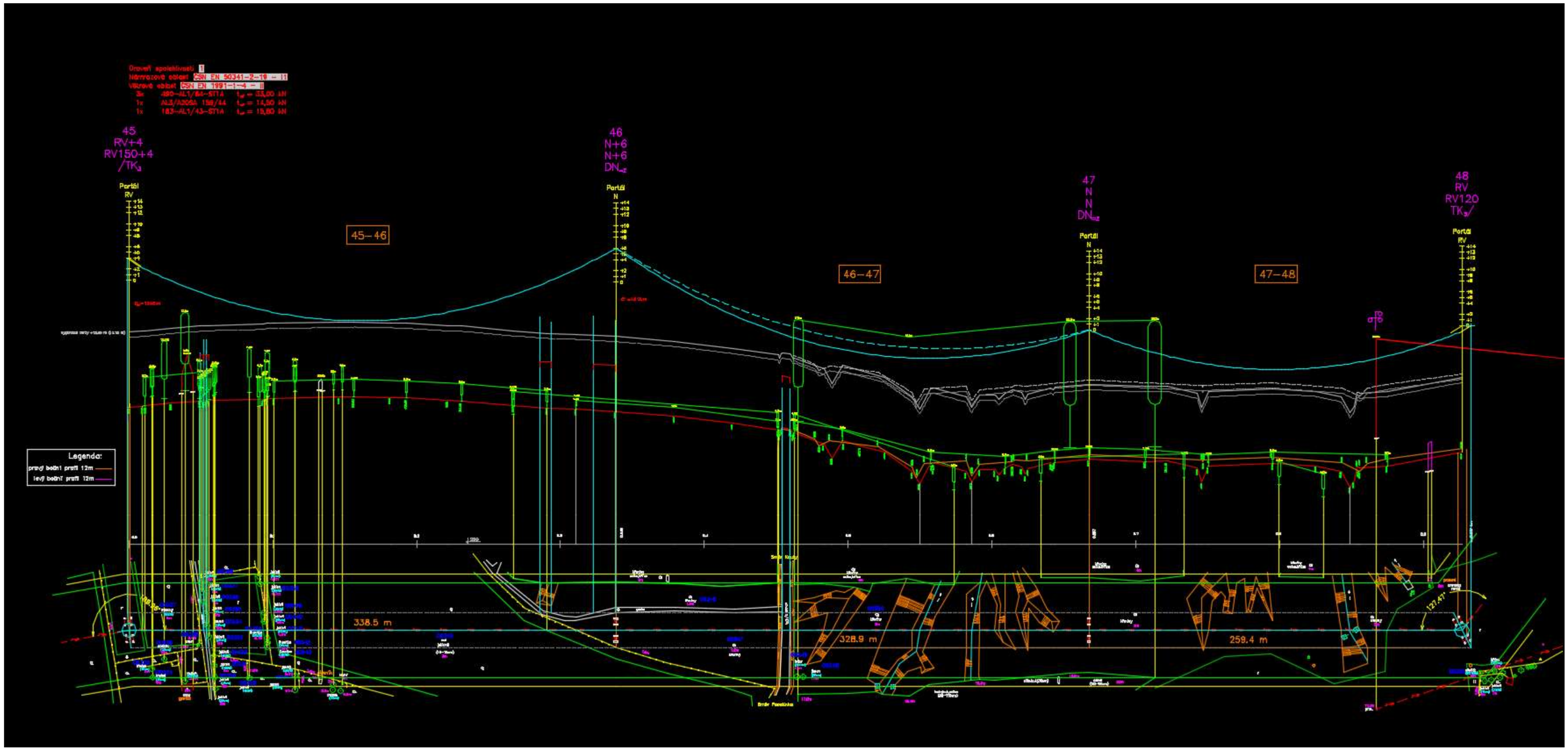
Rozpětí a_m	-20°	-10°	-5°	0°	10°	20°	30°	40°C	-5° vítr	-5° kg/m²	Parametr při +40°C
200	8,60	7,70	7,25	6,85	6,18	5,55	5,09	4,65		11,60	1346
210	8,45	7,58	7,18	6,80	6,12	5,55	5,10	4,70		11,70	1363
220	8,30	7,40	7,08	6,71	6,10	5,58	5,13	4,75		11,80	1378
230	8,12	7,30	7,00	6,65	6,10	5,59	5,19	4,80		11,90	1392
240	7,99	7,20	6,90	6,60	6,02	5,59	5,20	4,86		12,00	1410
250	7,80	7,10	6,80	6,50	6,01	5,59	5,21	4,90		12,09	1421
260	7,68	7,00	6,78	6,48	6,00	5,59	5,24	4,93		12,17	1430
270	7,55	6,95	6,78	6,43	5,99	5,60	5,28	4,98		12,26	1444
280	7,40	6,87	6,62	5,40	5,98	5,60	5,29	5,00		12,34	1450
290	7,33	6,80	6,56	6,35	5,94	5,60	5,30	5,01		12,42	1453
300	7,20	6,72	6,50	6,29	5,92	5,60	5,31	5,06		12,50	1466

Ukázky projekčních prací

Skutečné výstupy

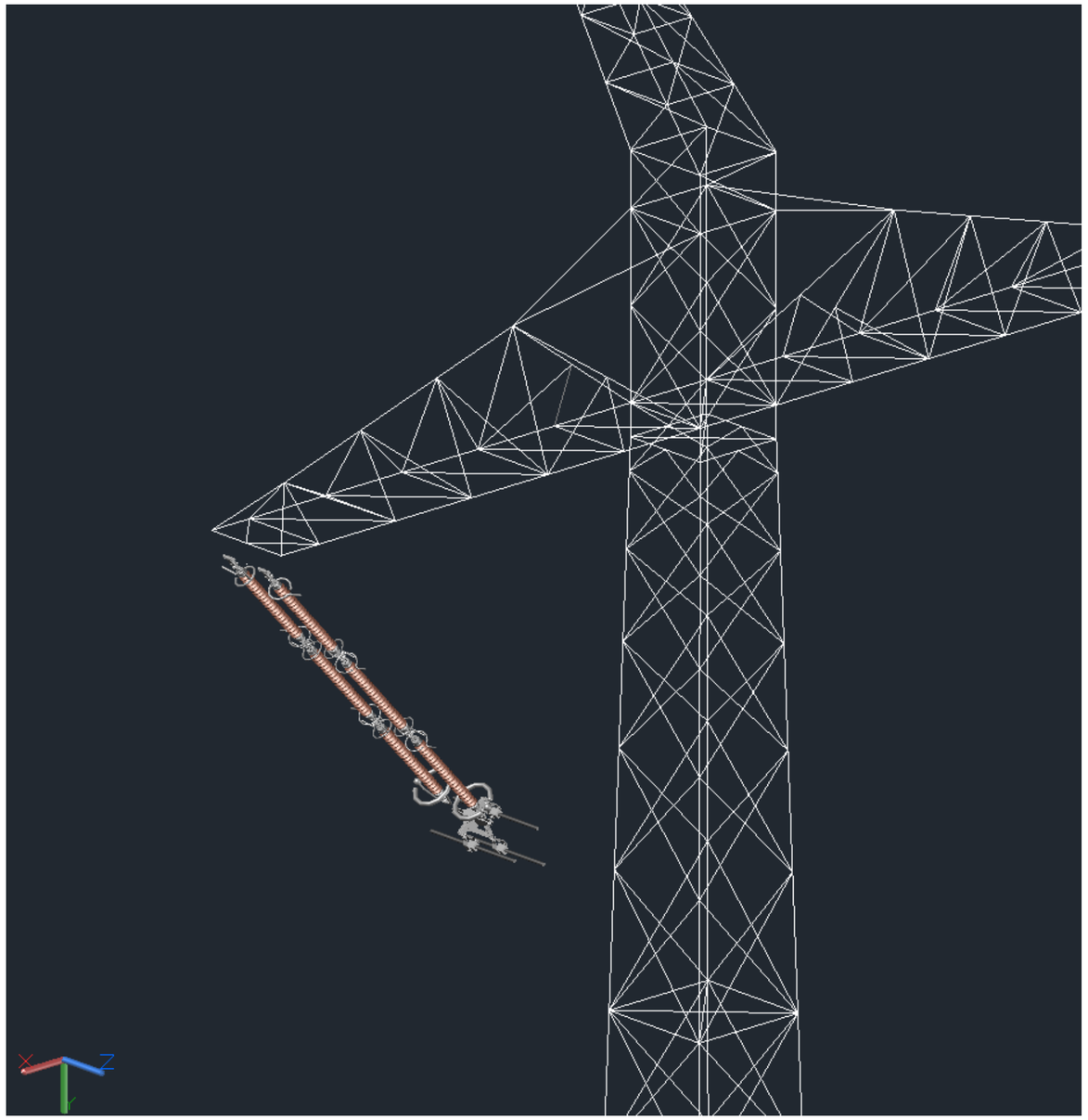
Ukázky projekčních prací

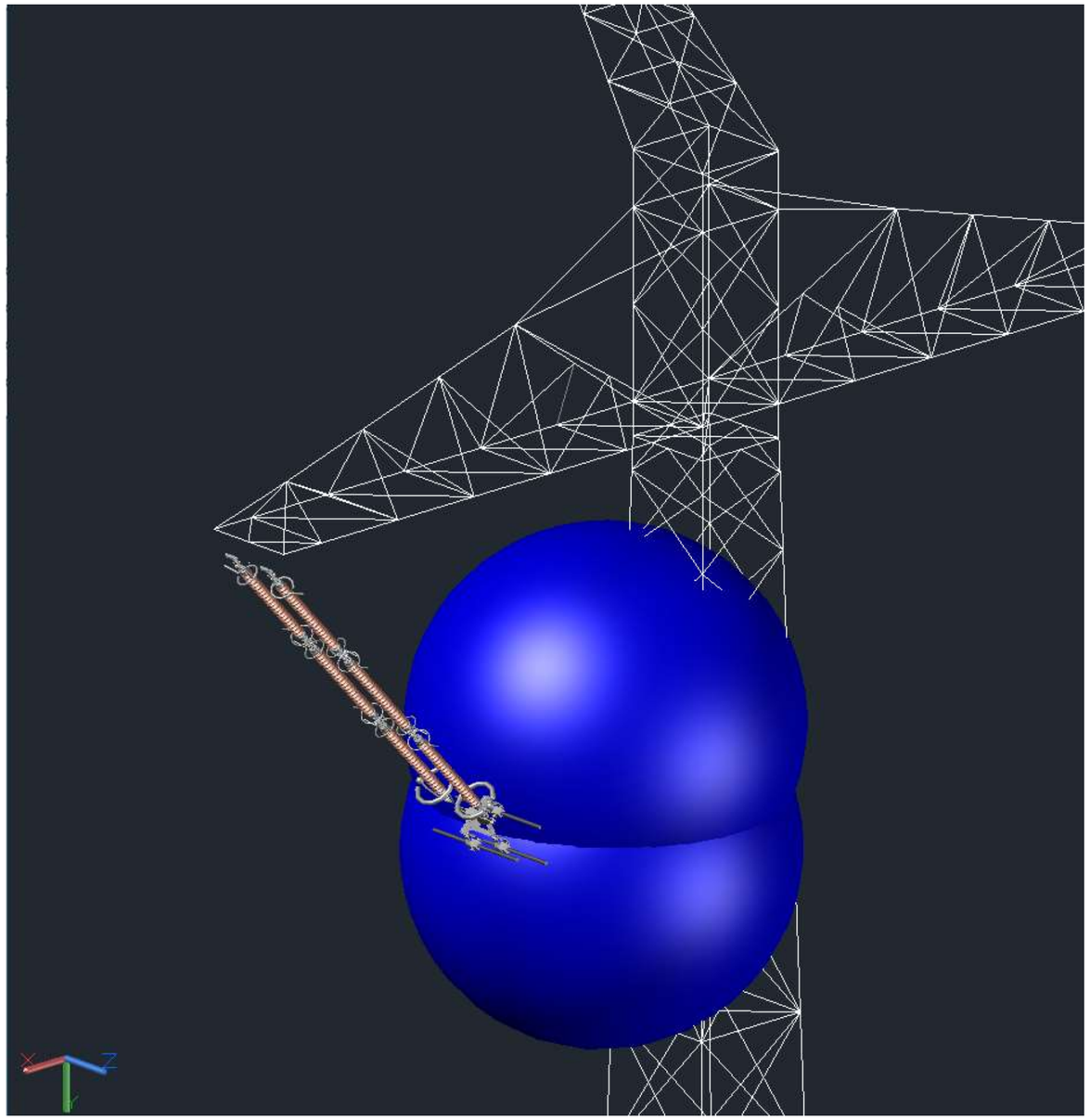
Podélný profil



Ukázky projekčních prací

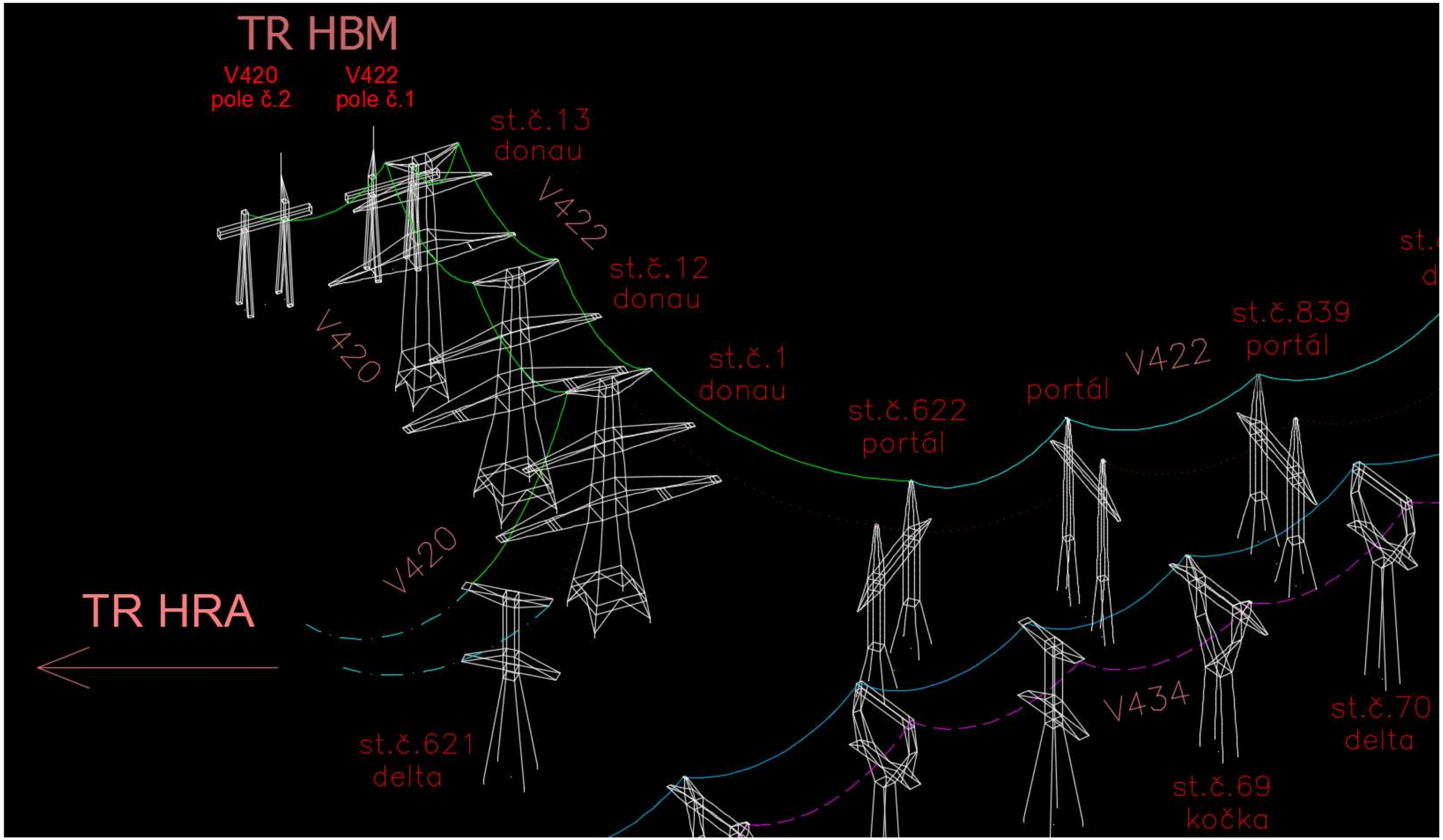
Vychýlení izolátorového závěsu tlakem větru – kontrola vzdáleností





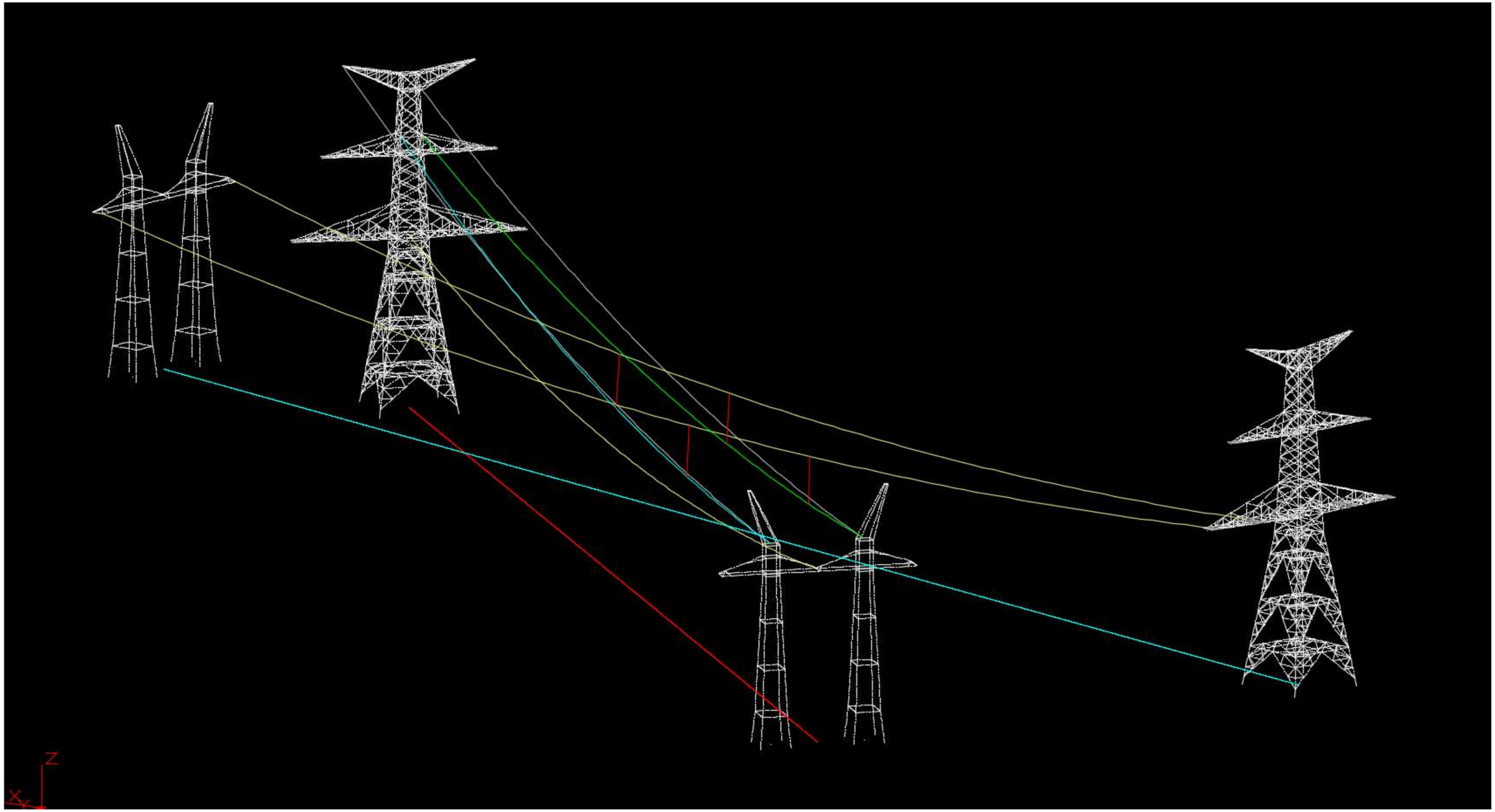
Ukázky projekčních prací

Schéma zapojení zemnicích lan – axonometrický pohled



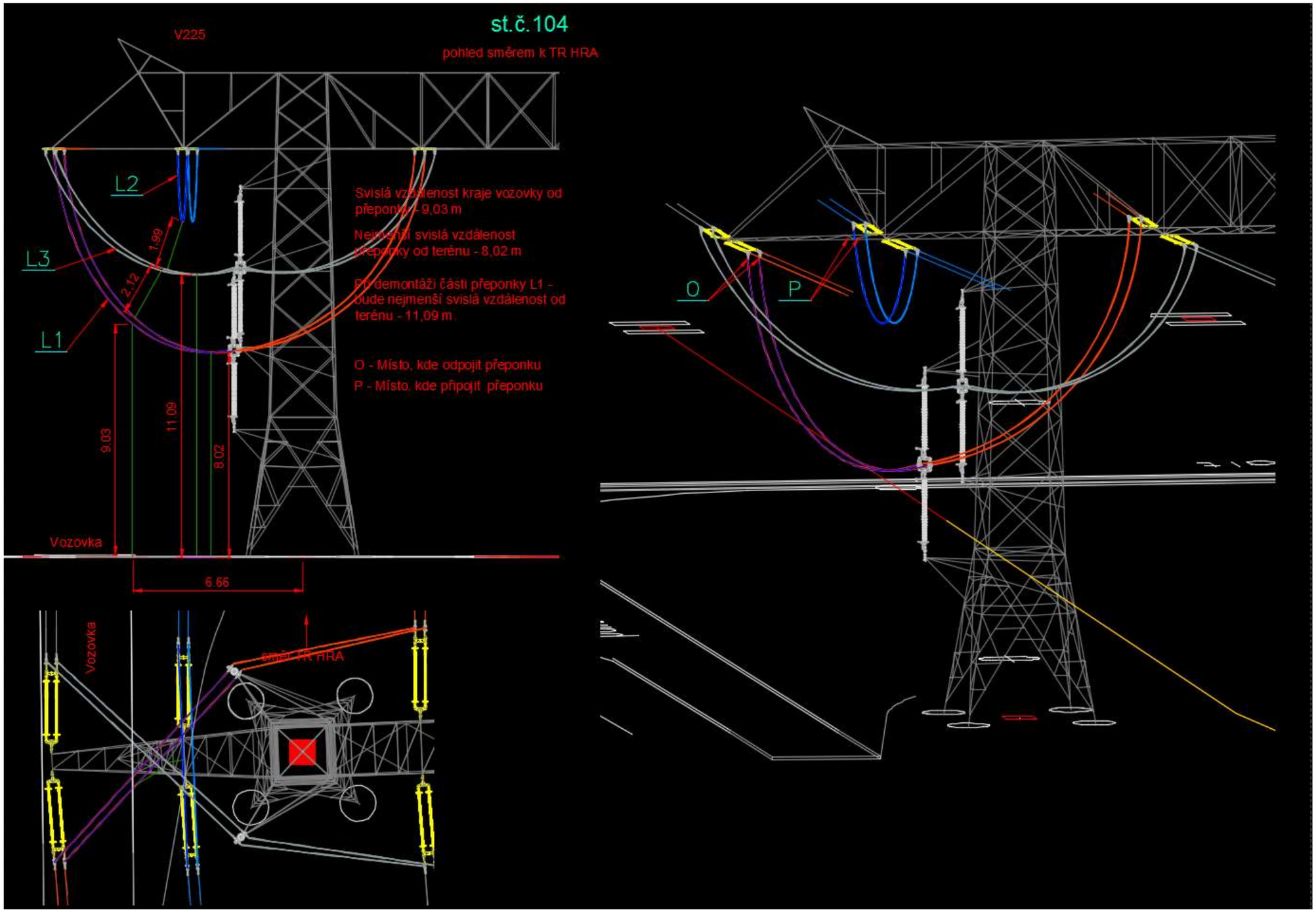
Ukázky projekčních prací

Křížení dvou vedení 400 kV – 3D model



Ukázky projekčních prací

Atypický projekt (technická pomoc) – doprava PST do TR Hradec



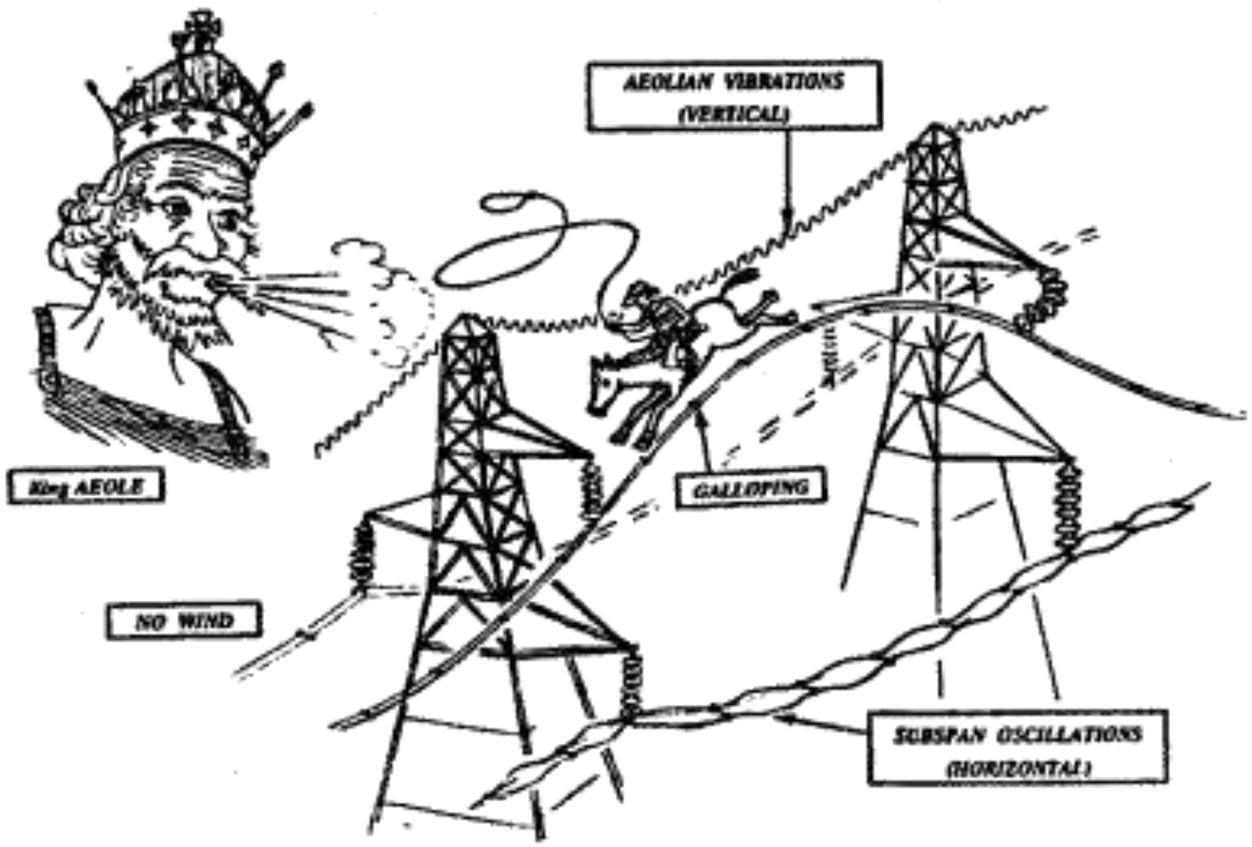
Galloping

Bonusová kapitola

Vibrace a kmitání vodičů

Definice gallopingu a další typy vibrací

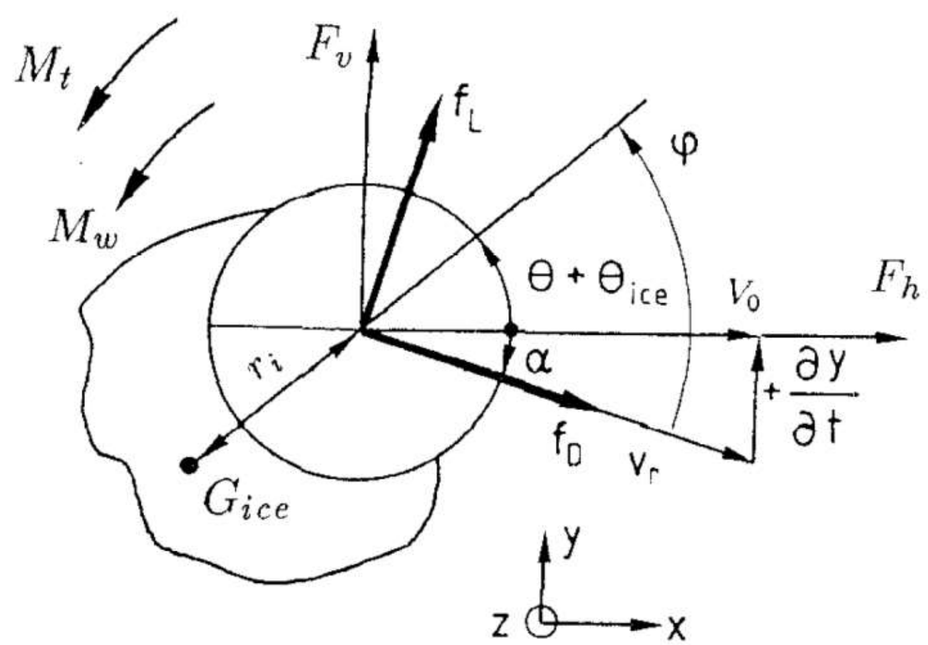
- *„Galloping je periodické kmitání vodičů s nízkou frekvencí a velkou amplitudou, vzniklé působením stálého větru na nerovnoměrně omrzlý vodič“*
- Existují i další druhy vibrací/kmitání vodičů
  - Eolické kmity (aeolic vibrations)
  - Vybuzené kmity (wake-induced)



Vibrace a kmitání vodičů

Matematický model

- Obecný model vychází z teoretické mechaniky
- Kmitající soustava se třemi stupni volnosti (x, y, θ)
- Vstupní parametry
  - Vedení (tah, délka rozpětí, materiálové vlastnosti vodiče)
  - Klimatické podmínky (hustota vzduchu, rychlost větru, námrazek)
  - Činitelé tlumení



Vibrace a kmitání vodičů

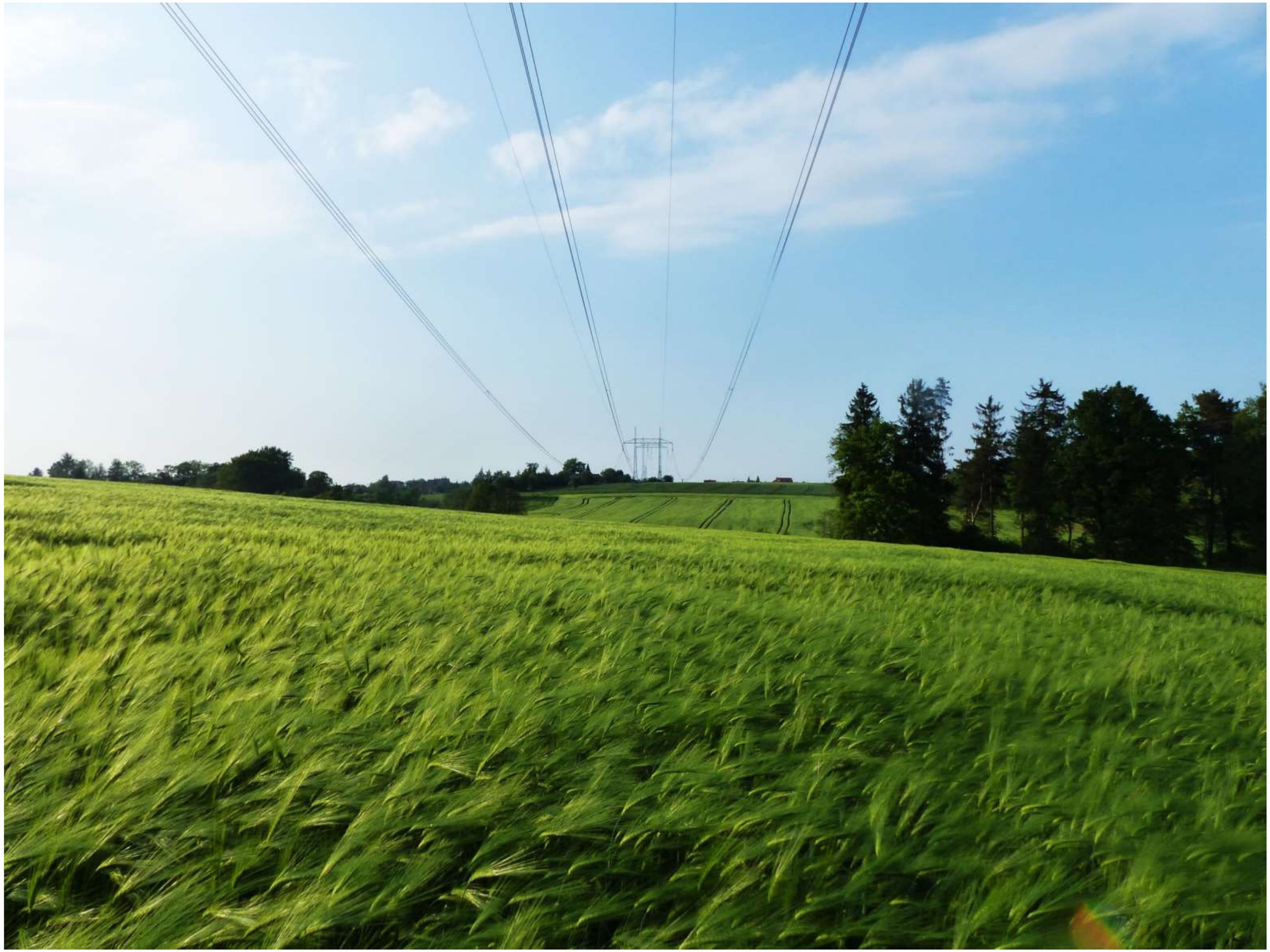
Účinky gallopingu

- Dynamické namáhání kotevních izolátorových závěsů
- Namáhání mezifázových rozpěrek
- Krajní případ – havárie stožárové konstrukce

- Videoukázky ze zahraničí:
  - https://www.youtube.com/watch?v=GEGbYRii1d4
  - https://www.youtube.com/watch?v=-afDFTEkOtc
- Klíčová slova pro vyhledávání: galloping, conductors, power line, overhead line, transmission line

Pár hezkých fotek z pochůzek

Tečka na závěr



Kde hledat další informace

Pro ty, kterým to ještě nestačilo…

- *Mechanika venkovních vedení*, List Vladimír, Pochop Karel
- *Mechanika vonkajších silových vedení*, Otčenášová Alena
- *Transmission Line Design Manual*, Holland H. Farr
- *State of the Art of Conductor Galloping*, CIGRE (dostupné online)
- *Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV*, PNE. Dostupné online
- *Nepřeberná studnice informací = vědecké články! Např. na serverech:*
  - *IEEE*
  - *ScienceDirect*
  - *Open Electrical & Electronic Engineering Journal*

Děkuji za pozornost

Matěj Valiga, projektant
valiga@cepsinvest.cz

ČEPS Invest, a.s., Elektrárenská 774/2, Praha 10,
www.cepsinvest.cz