



Prüflabor Nr. 1029

Akkreditiert vom Tschechischen Institut für die Akkreditierung,
der gemeinnützigen Gesellschaft
gemäß ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

PRÜFPROTOKOLL AKKREDITIERTE LABORE

13092/26

Revision 0

KUNDE	Amentum Clean Energy s.r.o. Křenová 184 602 00 Brno
PRÜFGEGENSTAND	Bereich unter der 400-kV-Freileitung und über der 110-kV-Kabeltrasse
TYPESPEZIFIKATION	Stromausgang und Eigenverbrauchsversorgung des SMR ETE
PRÜFVORSCHRIFTEN	IP5 (Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb.; Bulletin des Gesundheitsministeriums der Tschechischen Republik, Bd. 2017, Nr. 8; ČSN 33 2040)
TESTERGEBNISSE	Zusammenfassung der Testergebnisse finden Sie auf Seite 5
SEITENANZAHL	35
AUSGABEDATUM	2026-09-29

durchgeführt von:
Ing. Martin Kněnický, Ph.D.

genehmigt von:
Ing. Marek Brosch

autorisiert von:
Ing. Jan Lachman, Ph.D.

**REAL
INDEPENDENT TESTING**

WWW.EGUHV.COM

EGU – HV Laboratory a.s.
EGU HV LABORATORY, Podnikatelská 267, 190 11 Praha 9 – Běchovice, Tschechische Republik | +420 267 193 361 | info@eguhv.com

Das Prüfprotokoll ist vertraulich und darf ohne schriftliche Zustimmung des Kunden nicht an Dritte weitergegeben werden. Das Protokoll darf ohne die schriftliche Zustimmung des Labors nur in seiner Gesamtheit reproduziert werden. Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfungsgegenstand und ersetzen keine anderen Dokumente. Alle Prüfungen werden, sofern nicht anders angegeben, am Hauptsitz der Gesellschaft EGU HV LABORATORY durchgeführt. Die Gesellschaft EGU HV LABORATORY lehnt die Verantwortung für Ergebnisse der Prüfungen ab, wenn vom Kunden bereitgestellte Informationen die Gültigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen könnten.

SD 1.16.C_v01



Prüfungsleiter

Leiter
EGU HV LABORATORY

Direktor
EGU - HV Laboratory a.s.

PRÜFUNGSDETAILS

PRÜFGEGENSTAND	Bereich unter der 400-kV-Freileitung und über der 110-kV-Kabeltrasse
TYPESPEZIFIKATION	Stromausgang und Eigenverbrauchsversorgung des SMR ETE
ZEICHNUNG NR.	n/a
HERSTELLER	n/a
LIEFERTERMIN	n/a
PRÜFUNGSDATUM	Vom 04.05.2026 bis zum 15.05.2026
AUFTRAG NR.	WC003349
MIT TEILNAHME	n/a
ANHANG	n/a
ÜBERSICHT DER ÜBERARBEITUNGEN	Rev. 0 – Erste Ausgabe

Die Fassung mit der höchsten Revisionsnummer ist stets verbindlich und ersetzt alle zuvor herausgegebenen Fassungen.

Das PROTOKOLL ÜBER DIE PRÜFUNG EINES AKKREDITIERTEN LABORS umfasst die Prüfverfahren, die in den Akkreditierungsumfang des Hochspannungslabors EGU HV LABORATORY fallen, und es bildet einen integralen Bestandteil der Akkreditierungsurkunde. Die Prüfverfahren entsprechen internationalen, regionalen oder nationalen Standards. Abweichungen von diesen normativen Verfahren werden deutlich gekennzeichnet.

INHALTSVERZEICHNIS

1	TESTIDENTIFIZIERUNG DES PRÜFGEGENSTANDES	5
2	GESAMTERGEBNISSE DER BEWERTUNG (PRÜFUNGEN).....	6
3	ANFORDERUNGEN DER REGIERUNGSVERORDNUNG NR. 291/2015 SB.	9
4	PARAMETER DER BEWERTETEN LEITUNG	13
4.1	Mastkonstruktionen	13
4.2	Betrachtete Parallelführungen	14
4.3	Bewertete Kreuzung	16
4.4	Leiterparameter	16
5	BERECHNUNGSFEHLER IN DER OVERHEAD-SOFTWARE	19
6	BERECHNUNGSERGEBNISSE	20
6.1	Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE)	20
6.2	Parallelführung einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) mit zwei einfachen 400-kV-Freileitungen (ETE 1,2)	26
6.3	Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabeln (Versorgung des Eigenverbrauchs von SMR ETE) mit den 400-kV- und 110-kV-Freileitungen der bestehenden Blöcke.....	29

1 TESTIDENTIFIZIERUNG DES PRÜFGEGENSTANDES

Ziel der Bewertung ist es, die Einhaltung der geltenden Grenzwerte hinsichtlich elektrischer und magnetischer Felder (nichtionisierende Strahlung) gemäß der Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb. und der Norm ČSN 33 2040 für die geplante Errichtung einer neuen 400-kV-Freileitung und einer neuen 110-kV-Erdkabeltrasse im Rahmen des Vorhabens SMR ETE zu überprüfen. Der Gegenstand des Vorhabens ist der Bau einer neuen 110-kV-Kabelleitung für die Stromversorgung für den Eigenverbrauch und einer neuen 400-kV-Freileitung zur Leistungsabgabe im Rahmen des SMR-ETE-Projekts. Die Untersuchung konzentriert sich auf die Bewertung der Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder an parallel verlaufenden und sich kreuzenden Abschnitten der neu geplanten Leitungen mit dem bestehenden Übertragungs- und Verteilungsnetz, insbesondere mit den 400-kV- und 110-kV-Leitungen am Standort Temelín.

Die Bewertungsmethode besteht in der Berechnung der Parameter des elektromagnetischen Felds mit 50 Hz (elektrische Feldstärke E (kV/m) und magnetische Induktion B (μT)). Auf der Grundlage dieser Größen wird die modifizierte elektrische Feldstärke E_{mod} berechnet, die im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 1,8 m über dem Boden bei Freileitungen und in einer Höhe von 0,1 m über dem Boden bei Erdkabeln induziert wird (wobei davon ausgegangen wird, dass Personen auf dem Boden liegen). Gemäß Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb. ist es erforderlich, die Exposition im Kopfbereich als entscheidend zu beurteilen. Bei der Konfiguration von Beschichtungen in Simulationen wird standardmäßig die hinsichtlich der elektromagnetischen Feldstärke ungünstigste Phasenfolge berücksichtigt. Alle Berechnungen des elektromagnetischen Feldes werden mit dem Programm OVERHEAD Version 3.1.0.31 durchgeführt.

Die Bewertung der Auswirkungen elektromagnetischer Felder erfolgt in Übereinstimmung mit den geltenden Rechtsvorschriften (insbesondere dem Gesetz Nr. 258/2000 Sb. in der jeweils gültigen Fassung und der Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb. in der jeweils gültigen Fassung) sowie den geltenden technischen Normen (z. B. ČSN 33 2040 und PNE 33 3300, Ausgabe 3). Die Berechnungen werden gemäß der Methodik des Gesundheitsministeriums vom 11. Juli 2017 durchgeführt.

2 GESAMTERGEBNISSE DER BEWERTUNG (PRÜFUNGEN)

Tab. 1 Bewertungsergebnisse (Testergebnisse)

Bezeichnung der zu prüfenden Trassenvariante (Schnitt)	Prüfvorschrift	Ergebnis (Konformitätsaussage)
Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE)	ČSN 33 2040, Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb.	Bestanden
Parallelführung einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) mit zwei einfachen 400-kV-Freileitungen (ETE 1,2)	ČSN 33 2040, Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb.	Bestanden
Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit Freileitungen von 400 kV und 110 kV der bestehenden Blöcke	ČSN 33 2040, Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb.	Bestanden

Erläuterungen zu den Indizes bei Prüfverfahren und Normen:

- ¹⁾ Der Test wurde in einem externen, akkreditierten Labor durchgeführt.
- ²⁾ Die Prüfung wurde im Rahmen des flexiblen Geltungsbereichs der Akkreditierung durchgeführt.
- ³⁾ Die Prüfung fällt nicht in den Geltungsbereich der Akkreditierung von EGU HV Laboratory.
- ⁴⁾ Das Prüfverfahren bzw. die Bewertungskriterien umfassen normative Anforderungen und Kundenanforderungen.

EGU - HV Labory verwendet bei Entscheidungen das sog. Binärkriterium:

BESTANDEN - Das Messergebnis gilt als konform (übereinstimmend), wenn der Messwert innerhalb des Toleranzbereichs (der Spezifikation) liegt.

NICHT BESTANDEN - Das Messergebnis gilt als nicht konform (ungenügend), wenn der Messwert außerhalb des Toleranzbereichs (der Spezifikation) liegt.

Tab. 2 Zusammenfassung der numerischen Ergebnisse für die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion (der gemäß der Norm ČSN 33 2040 festgelegte höchstzulässige Wert beträgt $E_{max} = 10 \text{ kV/m}$ und $B_{max} = 500 \text{ } \mu\text{T}$)

Bewertetes Objekt	Maximalwert der elektrischen Feldstärke E_{max}	Maximaler Wert der magnetischen Induktion B_{max}
Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) – Höhe 1,8 m über dem Boden	5,31 kV/m	26,9 μT
Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer einfachen 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) – Höhe 0,1 m über dem Boden	5,13 kV/m	51,6 μT
Parallele Verlegung einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) mit zwei einfachen 400-kV-Freileitungen (ETE 1,2) – Höhe 1,8 m über dem Boden	5,36 kV/m	25,4 μT
Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit der 400-kV- und 110-kV-Freileitungen der bestehenden Blöcke – Höhe 1,8 m über dem Boden	5,36 kV/m	35,1 μT
Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit der 400-kV- und 110-kV-Freileitungen der bestehenden Blöcke – Höhe 0,1 m über dem Boden	5,18 kV/m	63,3 μT

Tab. 3 Zusammenfassung der numerischen Ergebnisse für die modifizierte elektrische Feldstärke (der gemäß der Rechtsverordnung Nr. 291/2015 Sb. festgelegte höchstzulässige Wert beträgt $E_{mod} = 0,2$ V/m)

Bezeichnung der zu prüfenden Trassenvariante (Schnitt)	Vorgesehene Mindesthöhe der unteren Phasenleiter über dem Gelände h_{min}	Maximalwert der modifizierten elektrischen Feldstärke E_{mod}
Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) – Höhe 1,8 m über dem Boden	12,5 m (400 kV) -1,3 m (110-kV-Kabel)	0,047 V/m
Parallele Verlegung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und einer einfachen 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) – Höhe 0,1 m über dem Boden	12,5 m (400 kV) -1,3 m (110-kV-Kabel)	0,045 V/m
Parallele Verlegung einer 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) mit zwei einfachen 400-kV-Freileitungen (ETE 1,2) – Höhe 1,8 m über dem Boden	12,5 m	0,048 V/m
Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit der 400-kV- und 110-kV-Freileitungen der bestehenden Blöcke – Höhe 1,8 m über dem Boden	12,5 m (400 kV) 7,1 m (110 kV) -1,3 m (110-kV-Kabel)	0,049 V/m
Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit der 400-kV- und 110-kV-Freileitungen der bestehenden Blöcke – Höhe 0,1 m über dem Boden	12,5 m (400 kV) 7,1 m (110 kV) -1,3 m (110-kV-Kabel)	0,052 V/m

3 ANFORDERUNGEN DER REGIERUNGSVERORDNUNG NR. 291/2015 SB.

In der Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb. (im Folgenden „NV 2015“) sind die höchstzulässigen Werte der modifizierten elektrischen Feldstärke E_{mod} im menschlichen Gewebe für Frequenzen des elektromagnetischen Feldes von 0 Hz bis 10 MHz (und somit auch für 50 Hz) festgelegt:

- $E_{mod} = 1,0 \text{ V/m}$ – für Angestellte
- $E_{mod} = 0,2 \text{ V/m}$ – für natürliche Personen in einer kommunalen (nicht-beruflichen) Umgebung

Als Angestellte im Sinne der NV 2015 gilt eine Person, die sich zur Ausübung abhängiger Arbeit in einem grundlegenden Beschäftigungsverhältnis verpflichtet hat und diese Arbeit derzeit ausübt. Im Kontext der NV 2015 ist eine natürliche Person im kommunalen Umfeld jede Person, die kein Angestellter ist.

Um die modifizierte elektrische Feldstärke E_{mod} zu bestimmen, muss zunächst die eigentliche elektrische Feldstärke E ermittelt werden, die durch ein externes elektromagnetisches Feld im Gewebe induziert wird. Das äußere elektromagnetische Feld wird durch die Größen der magnetischen Induktion B^{ext} und der elektrischen Feldstärke E^{ext} beschrieben, wobei Folgendes gilt:

$$E_1 = K_B \cdot \frac{dB^{ext}}{dt} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_0}{\sigma} \cdot K_E \cdot \frac{dE^{ext}}{dt} \quad (2)$$

$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ – Vakuumpermittivität

$\sigma = 0,20 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ – Gewebeleitfähigkeit

K_B, K_E – Expositionscoeffizienten (Feldverteilung, Ausrichtung des Feldes zum Körper und Stelle am Körper)

Gemäß der NV 2015 muss die Exposition des Kopfbereichs als ausschlaggebend angesehen werden. Um den ungünstigsten Fall zu berücksichtigen, wird zusätzlich angenommen, dass die Füße der Person leitfähig mit dem Boden verbunden sind (nackte Füße auf feuchtem Boden). Es wird also die aus gesundheitlicher Sicht ungünstigste Situation betrachtet, in der der Körper einem homogenen Magnetfeld senkrecht zur Brust und einem homogenen elektrischen Feld in Richtung vom Kopf zu den Füßen ausgesetzt ist. Hinsichtlich der Wahl der Konstanten wird ein strengerer Filter unter Berücksichtigung der Exposition des Kopfes – insbesondere der Exposition von Auge und Mittelohr ($K_B = 0,05 \text{ m}$ und $K_E = 66$). – gewählt.

Obwohl sowohl die elektrische Feldstärke als auch die magnetische Induktion Vektorgrößen sind, werden sie in den Gleichungen als Skalare ausgedrückt. Die Vektororientierung kann im allgemeinen Fall sehr komplex sein und hängt von der spezifischen Verteilung der anregenden elektrischen und magnetischen Felder ab. Die Situation lässt sich vereinfachen, indem man den ungünstigsten Fall betrachtet, bei dem sich die Belastungen durch elektrische und magnetische Felder bei gleichzeitiger Exposition addieren.

Bei einem sinusförmigen Signal ist die Expositionsbewertung sehr einfach. Die Anfangsgröße der magnetischen Komponente des Feldes ist der Effektivwert der magnetischen Induktion B_{ef}^{ext} . Die Amplitude der magnetischen Induktion ist dann $B_a^{ext} = \sqrt{2} \cdot B_{ef}^{ext}$ und ihre zeitliche Ableitung, die für die Substitution in die Beziehung benötigt wird (1), hat die Form:

$$\frac{dB^{ext}}{dt} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot B_a^{ext} \quad (3)$$

wobei f die Frequenz ist. Die durch dieses Magnetfeld induzierte elektrische Feldstärke ergibt sich dann aus folgender Beziehung (1) ($K_B = 0,05$ m):

$$E_1 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot K_B \cdot \pi \cdot f \cdot B_{ef}^{ext} \quad (4)$$

In ähnlicher Weise ist die Anfangsgröße der elektrischen Komponente des Feldes der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E_{ef}^{ext} . Die durch dieses elektrische Feld induzierte elektrische Feldstärke wird dann analog gemäß der folgenden Beziehung hergeleitet (2) ($K_E = 66$):

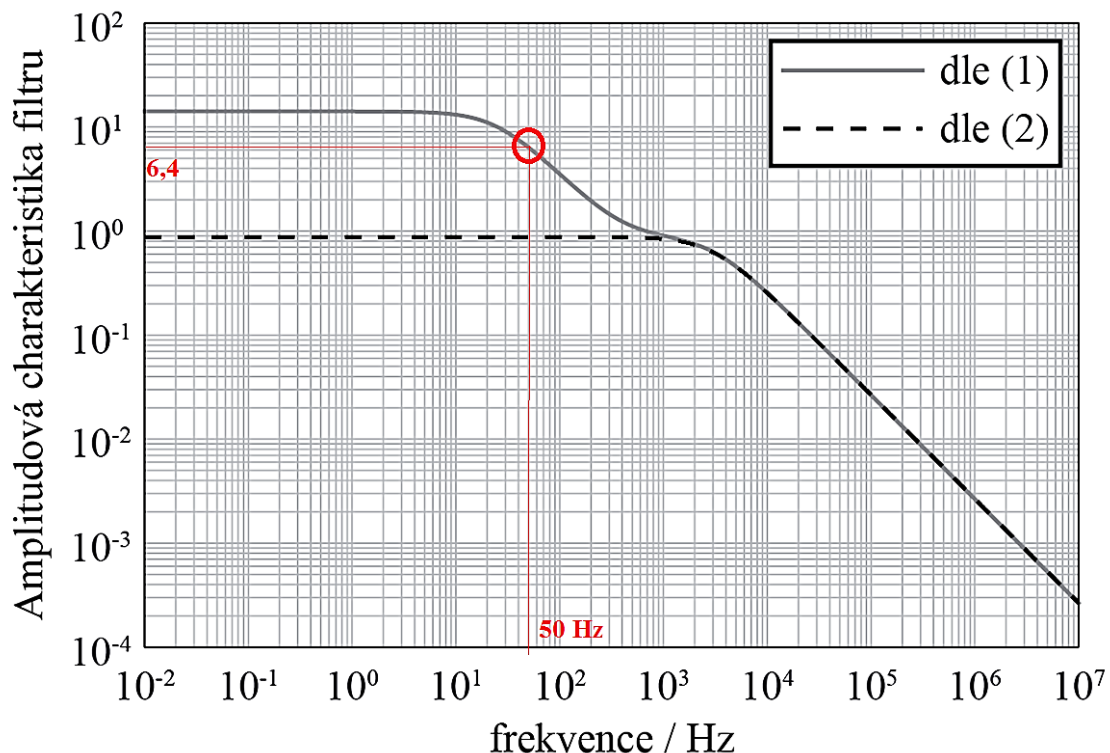
$$E_2 = \frac{\epsilon_0}{\sigma} \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot K_E \cdot \pi \cdot f \cdot E_{ef}^{ext} \quad (5)$$

Die Summe der elektrischen und magnetischen Feldstärke bestimmt dann die resultierende induzierte elektrische Feldstärke:

$$E = E_1 + E_2 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \left(K_B \cdot B_{ef}^{ext} + \frac{\epsilon_0}{\sigma} \cdot K_E \cdot E_{ef}^{ext} \right) \quad (6)$$

Die modifizierte elektrische Feldstärke E_{mod} wird dann durch die induzierte elektrische Feldstärke E bestimmt, die einen Filter mit einem Frequenzgang gemäß Abb. 1 durchläuft. Für 50 Hz gilt also $G(50) = 6,4$ und E_{mod} wird dann durch folgende Beziehung bestimmt:

$$E_{mod} = 6,4 \cdot E \quad (7)$$



Amplitudová charakteristika filtru	Amplitudencharakteristik des Filters
dle (1)	gemäß (1)

dle (2)	gemäß (2)
frekvence / Hz	Frequenz / Hz

Abb. 1 Amplituden-Frequenz-Charakteristik von Filtern zur Bestimmung der modifizierten elektrischen Feldstärke

In der NV 2015 sind zudem Referenzwerte für die elektrische Feldstärke E und die magnetische Induktion B festgelegt, die dazu dienen, die Beurteilung der Expositionssituation zu vereinfachen. Die Referenzwerte werden anhand der Größen E_{ef}^{Limit} und B_{ef}^{Limit} definiert, die gemäß der Tabelle in der NV 2015 für eine Frequenz von 50 Hz folgende Werte annehmen:

- $E_{ef}^{Limit} (50 \text{ Hz}) = 10 \text{ kV/m}$
- $B_{ef}^{Limit} (50 \text{ Hz}) = 1 \text{ mT}$

Um den Referenzwert nicht zu überschreiten, müssen die folgenden Kriterien mit effektiven Werten der räumlichen Maxima der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Induktion für eine Frequenz von 50 Hz erfüllt werden, die sich aus dem allgemeineren Kriterium der NV 2015 ableiten:

$$\frac{E_{ef}^{ext}{}_{max}}{E_{ef}^{Limit}} + \frac{B_{ef}^{ext}{}_{max}}{B_{ef}^{Limit}} \leq H_{lim} \quad (8)$$

Hierbei gilt für den Grenzwertkoeffizienten des Kriteriums Folgendes:

- $H_{lim} = 1,0$ – für Angestellte
- $H_{lim} = 0,2 \text{ V/m}$ – für natürliche Personen in einer kommunalen (nicht-beruflichen) Umgebung

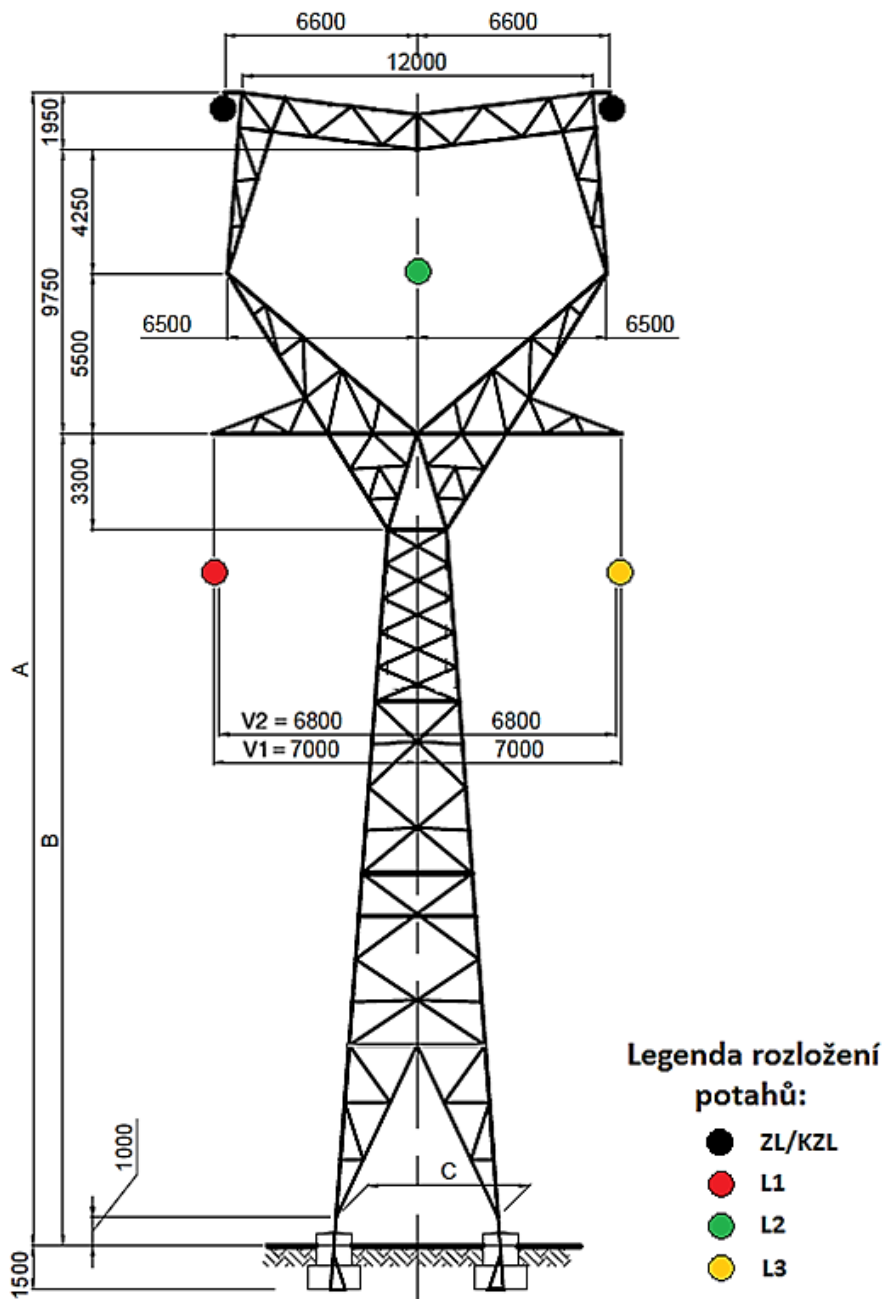
Aus diesem Grenzwertkoeffizienten für natürliche Personen im kommunalen Umfeld wurden die Grenzwerte für die elektrischen Feldstärken und die magnetische Induktion in den folgenden Berechnungsdiagrammen abgeleitet:

- $E_{ef}^{ext}{}_{lim} (50 \text{ Hz}) = 2 \text{ kV/m}$
- $B_{ef}^{ext}{}_{lim} (50 \text{ Hz}) = 0,2 \text{ mT}$

4 PARAMETER DER BEWERTETEN LEITUNG

4.1 MASTKONSTRUKTIONEN

Im Rahmen des Vorhabens SMR ETE wird für den Bau einer neuen Freileitung eine Leistungsabzweigung mit Delta-Masten (1x400 kV) gemäß Abb. 2 in Betracht gezogen. Für die Leitung wird eine standardmäßige Mindesthöhe der Phasenleiter über dem Boden von 12,5 m vorgesehen.



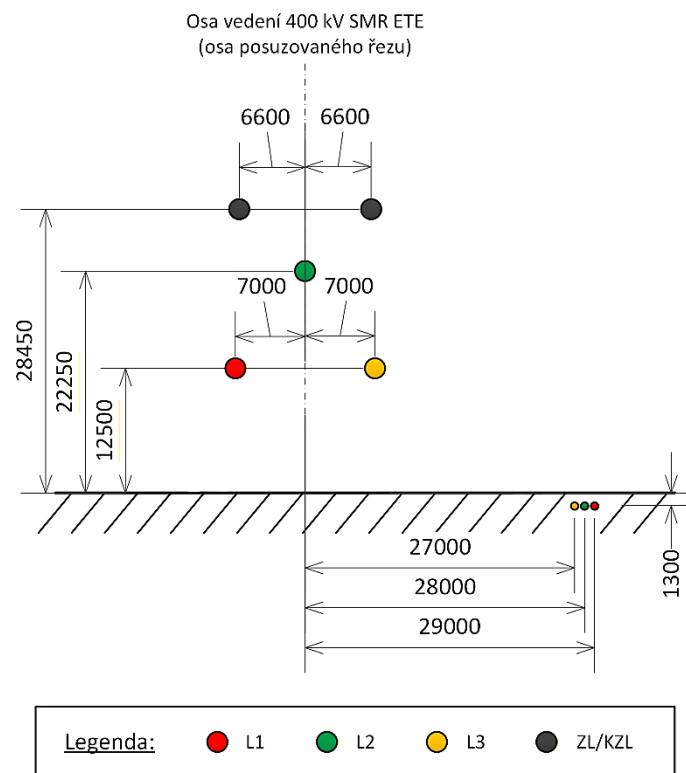
Legenda rozložení potahů:

Legende zur Anordnung der Bezüge:

Abb. 2 Schematische Darstellung der Anordnung einer Mastkonstruktion in Delta-Form (2023), 1x400-kV tragend

4.2 BETRACHTETE PARALLELFÜHRUNGEN

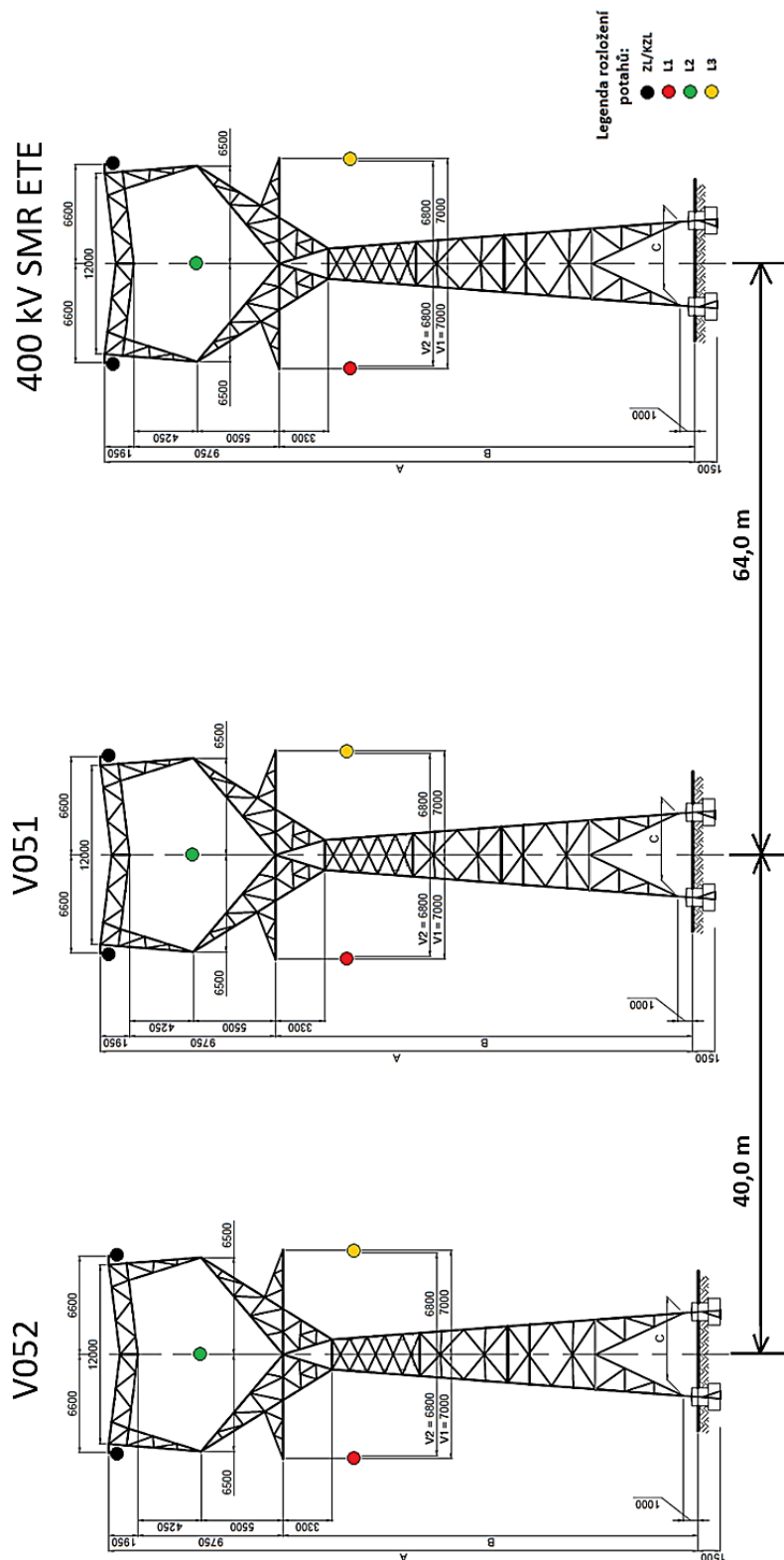
Die geplante unterirdische 110-kV-Kabelleitung (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) wird parallel zur geplanten einfachen 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) verlaufen, die auf 1x400-kV-Delta-förmigen Maststrukturen ausgeführt wird. Die am ungünstigsten bewertete Variante ist in Abb. 3 dargestellt.



Osa vedení 400 kV SMR ETE (osa posuzovaného řezu)	Achse der 400-kV-SMR-ETE-Leitung (Achse des bewerteten Schnitts)
Legenda:	Legende:

Abb. 3 Die untersuchte Parallelführung der geplanten unterirdischen 110-kV-Kabelleitung (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und der geplanten 1x400-kV-Freileitung in Delta-Form (Leistungsabgabe SMR ETE)

Darüber hinaus wird die geplante einfache 400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) parallel zu den bestehenden einfachen 400-kV-Freileitungen (Leistungsabgabe ETE 1,2) verlaufen. Alle Parallelleitungen verwenden 1x400 kV Delta-förmige Maststrukturen. Der Querschnitt der bewerteten Parallelführung ist in Abb. 4 dargestellt. Die Mindesthöhe der unteren Phasenleiter über dem Boden beträgt bei allen 400-kV-Leitungen 12,5 m.



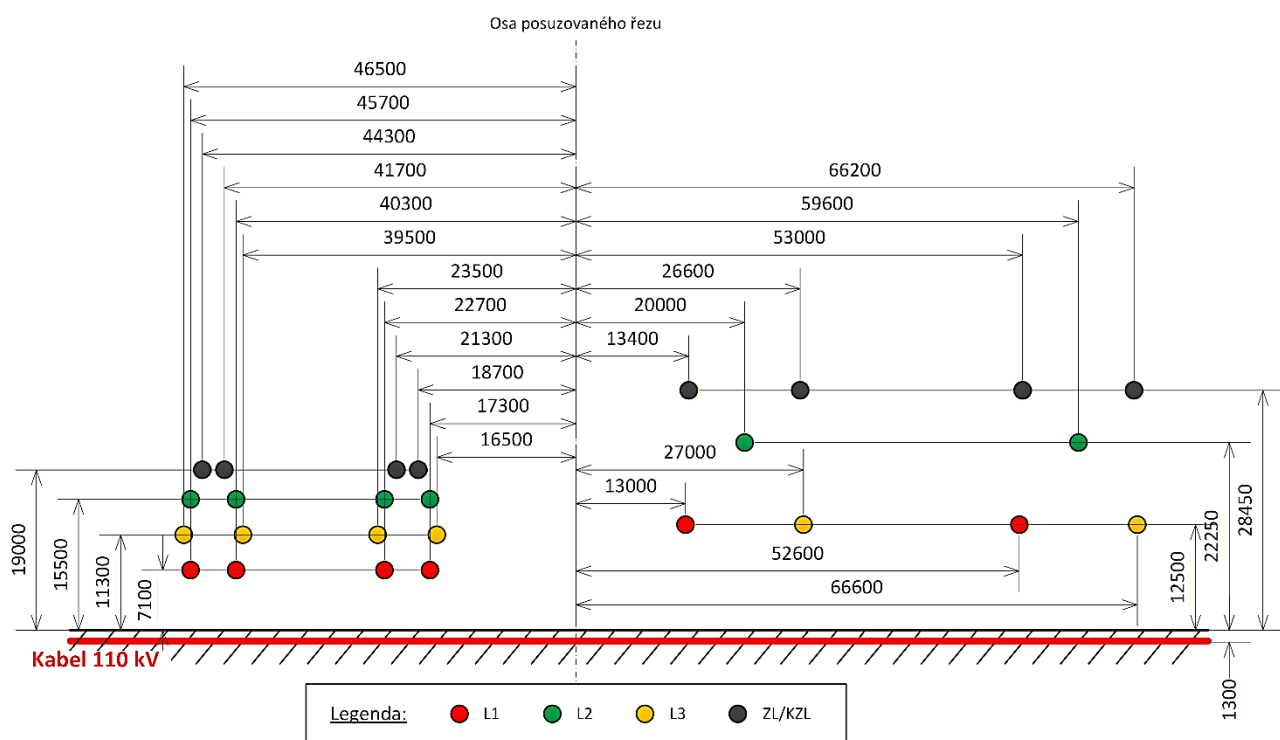
Legenda rozložení potahů:

Legende der Leiteranordnung:

Abb. 4 Bewertung der Gleichzeitigkeit der geplanten Delta-förmigen 1x400-kV-Freileitung (Leistungsabgabe SMR ETE) mit Delta-förmigen 1x400-kV-Freileitungen (Leistungsabgabe ETE 1.2)

4.3 BEWERTETE KREUZUNG

Die geplante unterirdische 110-kV-Kabelleitung (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) wird die 400-kV-Freileitungen vom Typ Delta 1x400 kV (Leistungsabgabe ETE 1.2) und die 110-kV-Freileitung vom Typ Tonne 2x110 kV (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des ETE 1.2) kreuzen. Gemäß den Unterlagen zur Modernisierung der 110-kV-Freileitung wird am Kreuzungspunkt jedes 110-kV-Freileitungssystem doppelt (parallel geschaltet) auf 2x110-kV-Mastkonstruktionen vom Typ Tonne ausgeführt. Der Querschnitt der bewerteten Kreuzungssituation ist in Abb. 5 dargestellt. Alle Leitungen im untersuchten Schnitt wurden unter maximaler Strom- und Spannungsbelastung betrachtet, was den ungünstigsten Zustand in Bezug auf die elektromagnetischen Feldeffekte darstellt.



Osa posuzovaného řezu	Achse des betrachteten Schnitts
Kabel 110 kV	110-kV-Kabel
Legenda	Legende

Abb. 5 Schnitt an der Kreuzungsstelle der 110-kV-Kabelleitung (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) mit zwei 400-kV-Leitungen in Delta-Form (rechts von der Schnittlinie) und zwei 110-kV-Leitungen in Tonne-Form (links von der Schnittlinie)

4.4 LEITERPARAMETER

Bei einer 110-kV-Kabelleitung wird das elektrische Feld jeder Phase durch die geerdete leitfähige Abschirmung der jeweiligen Phase wirksam abgeschirmt, sodass lediglich die Auswirkungen des Magnetfelds berücksichtigt werden (die elektrische Feldstärke ist vernachlässigbar). Im Falle der Induktion von Betriebsströmen in die Kabelschirmung würde der Stromfluss in der Kabelschirmung die Stärke des Magnetfelds um das Kabel verringern. Zur Vereinfachung wurden die Berechnungen unter der Annahme des ungünstigsten Zustands hinsichtlich der Magnetfeldeffekte durchgeführt,

nämlich wenn kein induzierter Strom durch die Abschirmung fließt, was den Einfluss des Magnetfelds des Kabels auf die Umgebung verringern würde.

Die Leiterparameter für die geplante unterirdische 110-kV-Kabelleitung (Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE) und für die geplante einfache Freileitung mit 400 kV (Leistungsabgabe SMR ETE) sind in Tab. 4 und Tab. 5 angegeben. Die Parameter der Leiter der 400-kV-Freileitungen von ETE 1,2 sind in Tab. 6 angegeben. Die Parameter der Leiter der 110-kV-Freileitungen von ETE 1,2 am geplanten Kreuzungspunkt sind in Tab. 7 angegeben.

Tab. 4 Kabelparameter der 110-kV-Leitung der Stromversorgung für den Eigenverbrauch des SMR ETE – 3 einphasige geschirmte Kabel

Aderquerschnitt (mm ²)	Nennspannung (kV)	Nennstrom (A)	Durchmesser der Kabelader (mm)	Material der Kabelader	Gleichstromwiderstand (für 20°C) (Ω/km)	Mindestverlegetiefe (m)
1 x 400	123	410	23,0	Al	0,0778	1,3

Tab. 5 Parameter der Leiter der 400-kV-Freileitung zur Leistungsabgabe SMR ETE

Parameter	Typ	Seildurchmesser (mm)	Gleichstromwiderstand (für 20°C) (Ω/km)	Gesamtquerschnitt (mm ²)	Gesamtbelastbarkeit des Systems (A)
Phasenleiter	3x 434-AL1/56-ST1A	28,8	0,0666	490,6	1800
Erdungsseil (ZL)	1x 185-AL4/43-ST6C	19,6	0,1805	227,8	-
Kombinierte ZL (KZL)	1x AL3/A20S A 203/70	22,1	0,1640	272,8	-

Tab. 6 Parameter der Leiter der 400-kV-Freileitungen der ETE 1,2

Parameter	Typ	Seildurchmesser (mm)	Gleichstromwiderstand (für 20°C) (Ω/km)	Gesamtquerschnitt (mm ²)	Gesamtbelastbarkeit des Systems (A)
Phasenleiter	3x 434-AL1/56-ST1A	28,8	0,0666	490,6	1800
Erdungsseil (ZL)	1x 185-AL4/43-ST6C	19,6	0,1805	227,8	-
Kombinierte ZL (KZL)	1x AL3/A20S A 203/70	22,1	0,1640	272,8	-

Tab. 7 Parameter der Leiter der 110-kV-Freileitungen der ETE 1,2

Parameter	Typ	Seildurchmesse r (mm)	Gleichstromwiderstan d (für 20°C) (Ω/km)	Gesamtquerschni tt (mm ²)	Gesamtbelastbarke it des Systems (A)
Phasenleite r	1x 679- AL1/86- ST1A	36,0	0,0426	764,5	400
Erdungsseil (ZL)	1x 185- AL4/43- ST6C	19,6	0,1805	227,8	-
Kombiniert e ZL (KZL)	1x AL4/A20S A 195/42	20,7	0,1718	236,9	-

5 BERECHNUNGSFEHLER IN DER OVERHEAD-SOFTWARE

Die Validierung der Software OVERHEAD Version 3.1.0.31, die zur Beurteilung der Einhaltung der Grenzwerte für elektromagnetische Felder herangezogen wurde, erfolgte mit Hilfe der Software Wolfram Mathematica und der Software COMSOL Multiphysic und ist im internen Bericht Nr. Int_1/23 vom 29.08.2023 dokumentiert.

Das Ergebnis der Validierung ist die Bestätigung der Eignung der OVERHEAD-Software für den vorgesehenen Zweck und eine Auflistung ihrer Fehler:

- Der Fehler bei der Berechnung des elektrischen Feldes δ_E beträgt weniger als 0,001 % .
- Der Fehler bei der Berechnung des Magnetfelds δ_B beträgt weniger als 6 % .

Dies sind die maximal möglichen relativen Fehler, die sich in der Gesamtbewertung der numerischen Simulationen bei der Berechnung der modifizierten elektrischen Feldstärke widerspiegeln (siehe Beziehung (6) und (7)). Die Auswertung umfasst daher auch die Berechnung des absoluten und relativen Fehlers des resultierenden Wertes der modifizierten elektrischen Feldstärke gemäß den folgenden Beziehungen:

$$\Delta_{Emod} = 6,4 \cdot (\delta_B \cdot E_1 + \delta_E \cdot E_2) \quad (9)$$

$$\delta_{Emod} = (\Delta_{Emod}/E_{mod}) \cdot 100 \quad (10)$$

6 BERECHNUNGSERGEBNISSE

6.1 PARALLELE VERLEGUNG VON UNTERIRDISCHEN 110-KV-KABELLEITUNGEN (STROMVERSORGUNG FÜR DEN EIGENVERBRAUCH DES SMR ETE) UND EINER 400-KV-FREILEITUNG (LEISTUNGSABGABE SMR ETE)

Die Kurven des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke und des Effektivwerts der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparallelführung in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände sind in Abb. 6 und Abb. 7 dargestellt. Der Verlauf der modifizierten elektrischen Feldstärke im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände wird in Abb. 8 dargestellt. Die Kurven des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke und des Effektivwerts der magnetischen Induktion im Schnitt der untersuchten Leitungskreuzung, die sich in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände befindet, sind in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt. Der Verlauf der modifizierten elektrischen Feldstärke im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände wird in Abb. 11 dargestellt. Diese Verläufe sind im Vergleich zu den Referenzwerten gemäß der Verordnung NV 2015 für natürliche Personen im kommunalen (nicht beruflichen) Umfeld dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen und der Auswertung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion sind für eine Höhe von 1,8 m über dem Boden in Tab. 8 sowie für eine Höhe von 0,1 m über dem Boden in Tab. 9 zusammengefasst.

Konformitätsaussage:

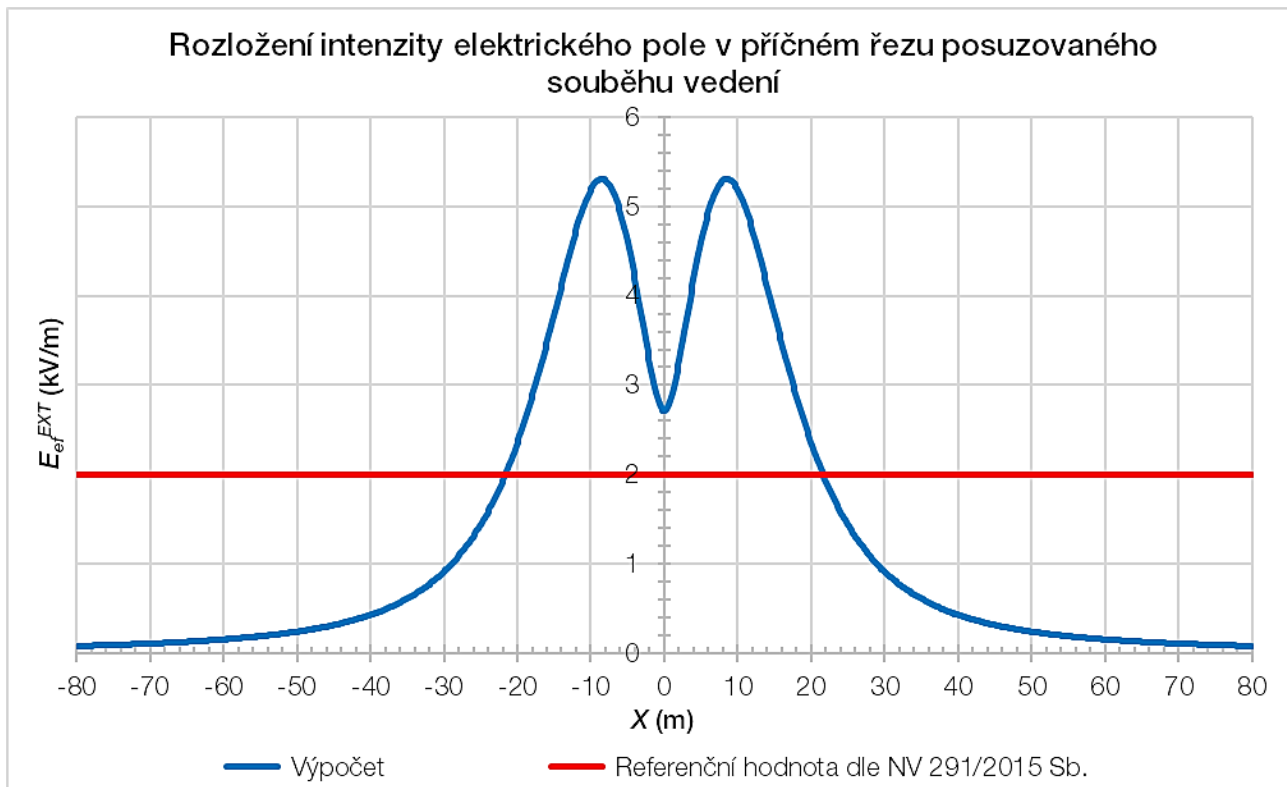
Der geplante Verlauf der parallel verlaufenden unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (Stromversorgung für den Eigenbedarf des SMR ETE) und der einfachen 400-kV-Freileitung in Delta-Form (Leistungsabgabe SMR ETE) entspricht den Anforderungen der NV 2015 für natürliche Personen im kommunalen (nicht beruflichen) Umfeld und der ČSN 33 2040 „Elektrotechnische Vorschriften. Schutz vor den Auswirkungen von 50-Hz-Elektromagnetfeldern im Einflussbereich von Betriebsmitteln elektrischer Anlagen.

Tab. 8 Berechnungsergebnisse und Bewertung der Referenzwerte für E und B in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände

$B_{ef}^{EXT_{max}}$ (μT)	$E_{ef}^{EXT_{max}}$ (kV/m)	H (-)	H_{lim} (-)	$H \leq H_{lim}$	$E_{mod_{max}}$ (V/m)	ΔE_{mod} (mV/m)	δE_{mod} (%)
26,87	5,31	0,56	0,2	NEIN	0,047	0,23	0,49

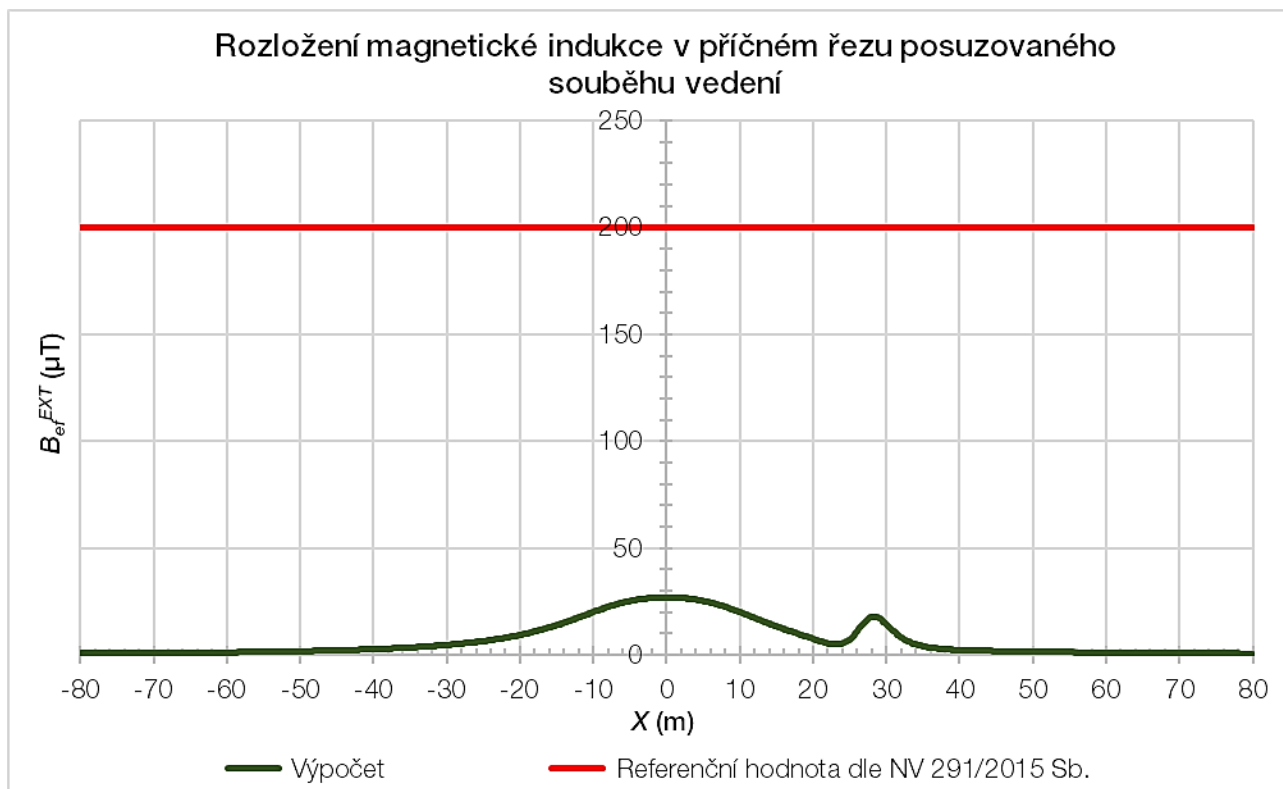
Tab. 9 Berechnungsergebnisse und Bewertung der Referenzwerte für E und B in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände

$B_{ef}^{EXT_{max}}$ (μT)	$E_{ef}^{EXT_{max}}$ (kV/m)	H (-)	H_{lim} (-)	$H \leq H_{lim}$	$E_{mod_{max}}$ (V/m)	ΔE_{mod} (mV/m)	δE_{mod} (%)
51,57	5,13	0,56	0,2	NEIN	0,045	0,44	0,97



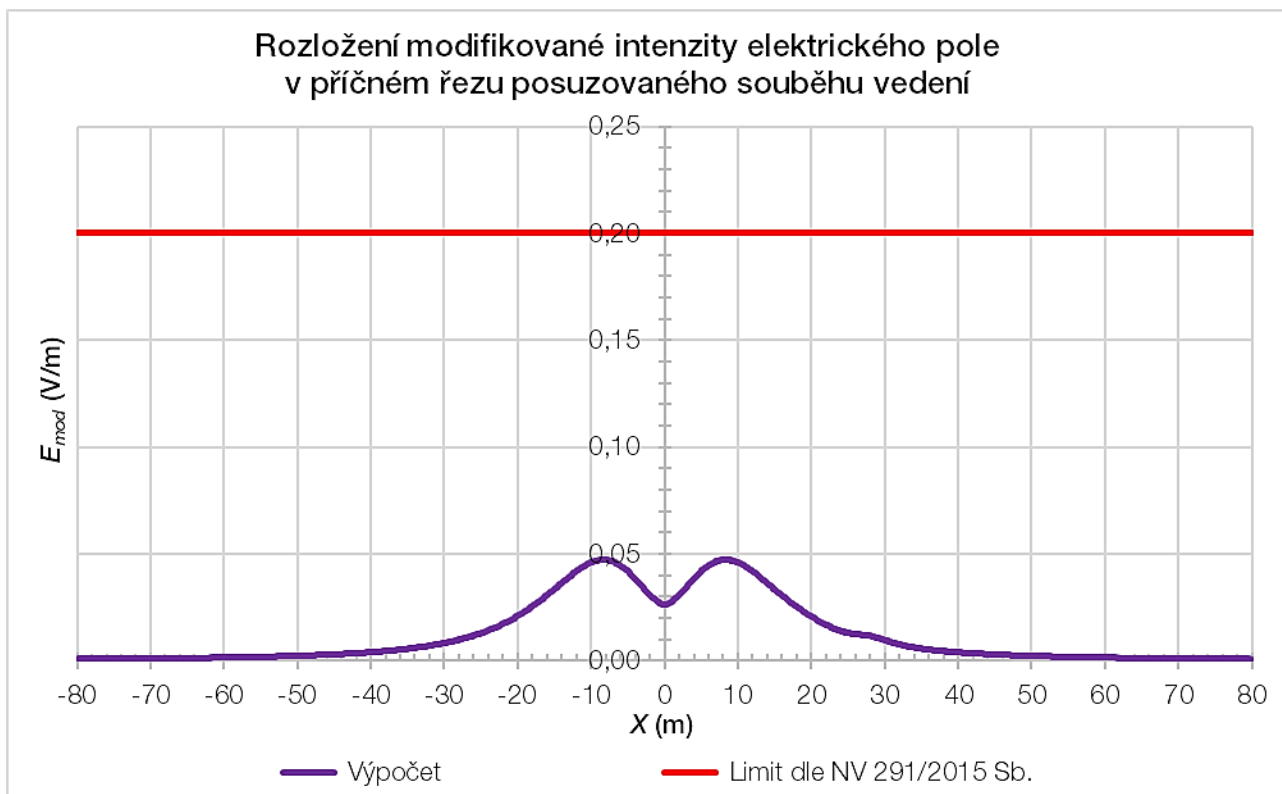
Rozložení intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 6 Elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparellführung



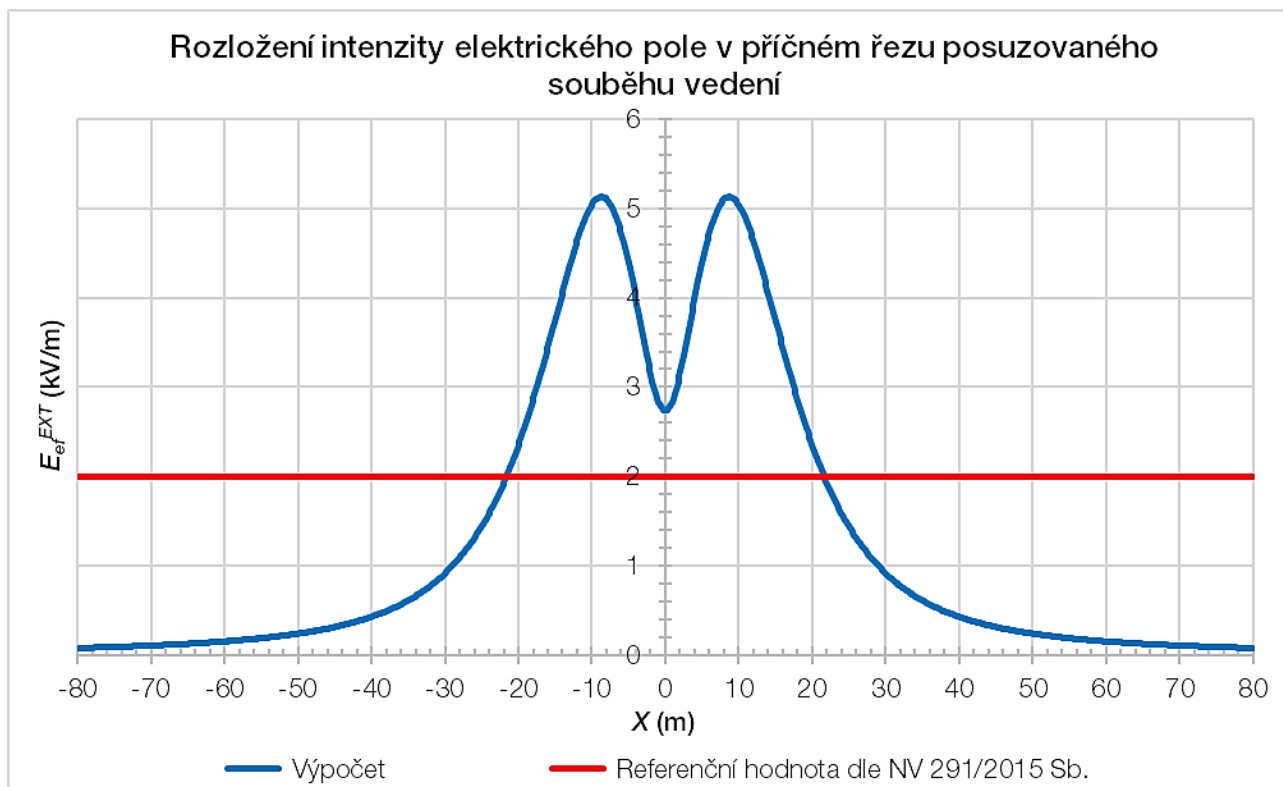
Rozložení magnetické indukce v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 7 Magnetische Induktion in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparellführung



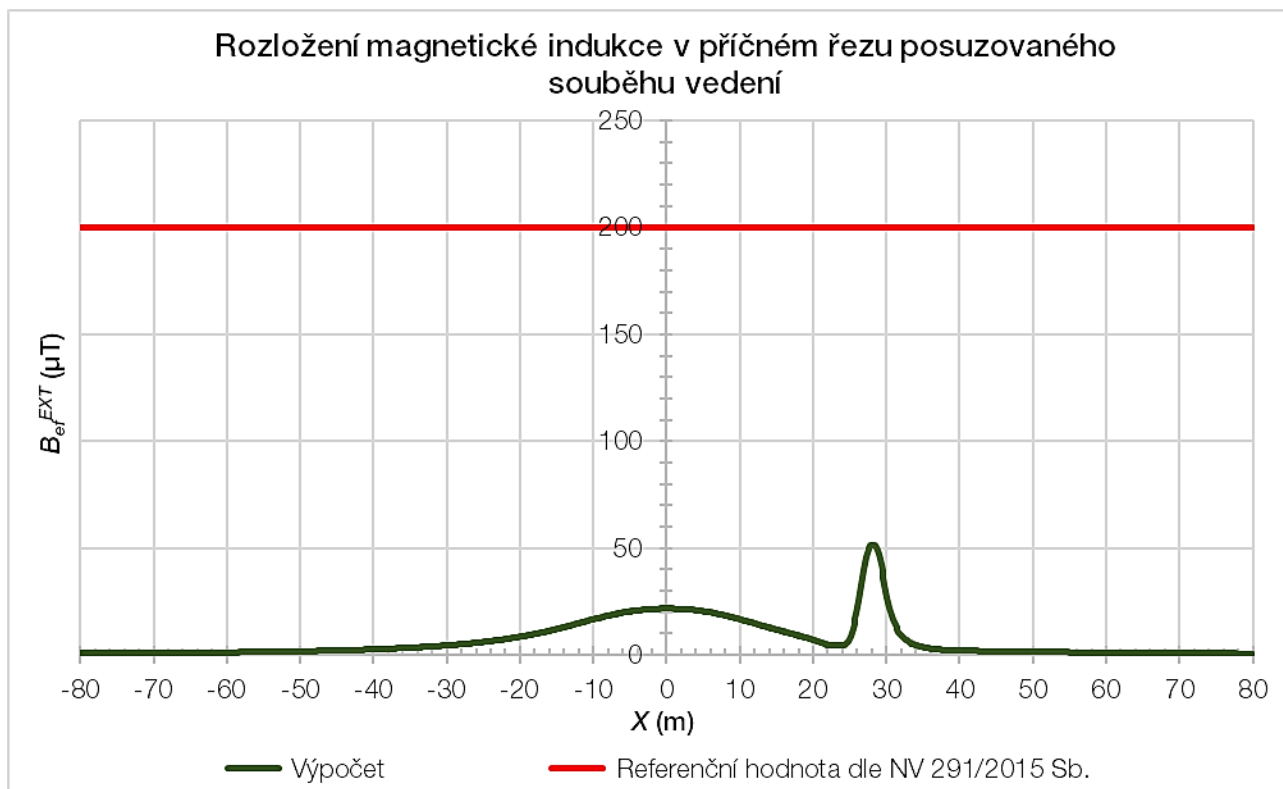
Rozložení modifikované intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der modifizierten elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparelführung
Výpočet	Berechnung
Limit dle NV 291/2015 Sb.	Grenzwert laut NV 291/2015 Sb.

Abb. 8 Modifizierte elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände abhängig vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparelführung



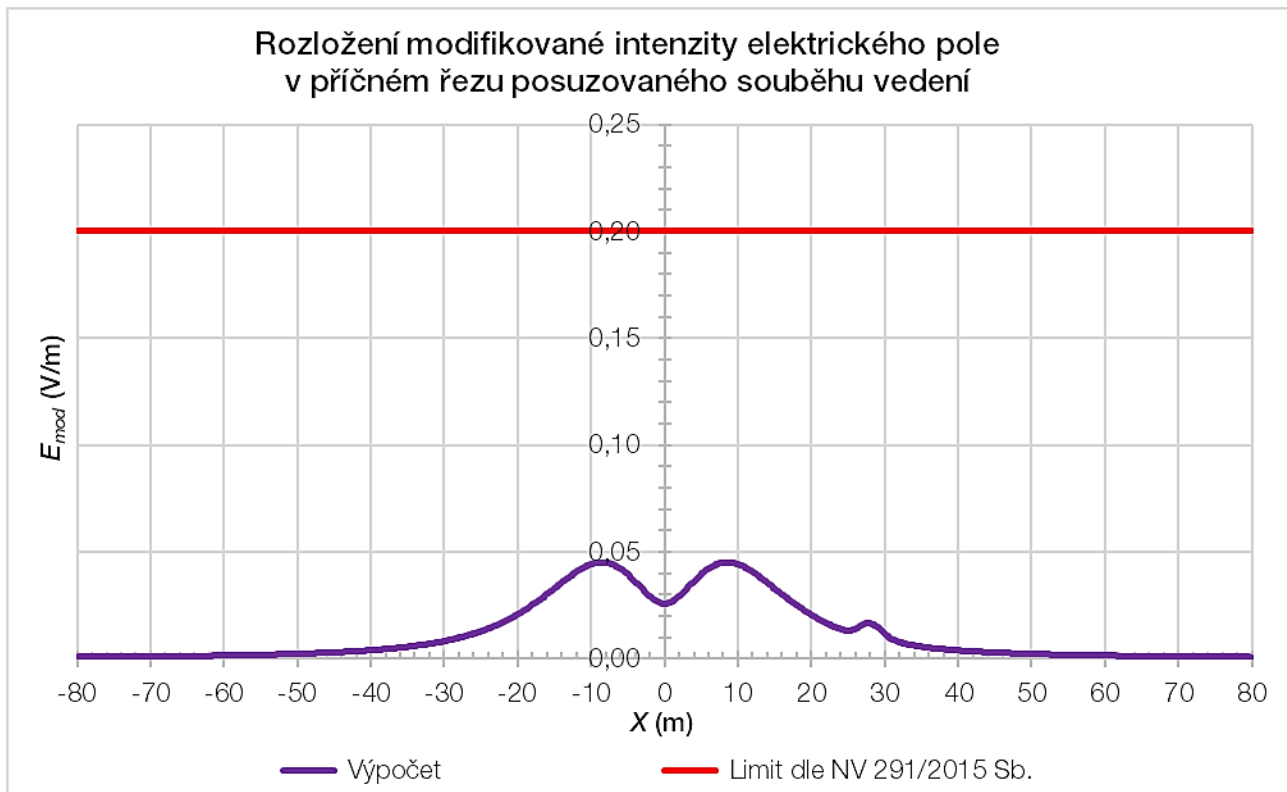
Rozložení intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 9 Elektrische Feldstärke in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der ermittelten Linienkompartimentierung



Rozložení magnetické indukce v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 10 Magnetische Induktion in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparellführung



Rozložení modifikované intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der modifizierten elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparelführung
Výpočet	Berechnung
Limit dle NV 291/2015 Sb.	Grenzwert laut NV 291/2015 Sb.

Abb. 11 Modifizierte elektrische Feldstärke in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände abhängig vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparelführung

6.2 PARALLELFÜHRUNG EINER 400-KV-FREILEITUNG (LEISTUNGSABGABE SMR ETE) MIT ZWEI EINFACHEN 400-KV-FREILEITUNGEN (ETE 1,2)

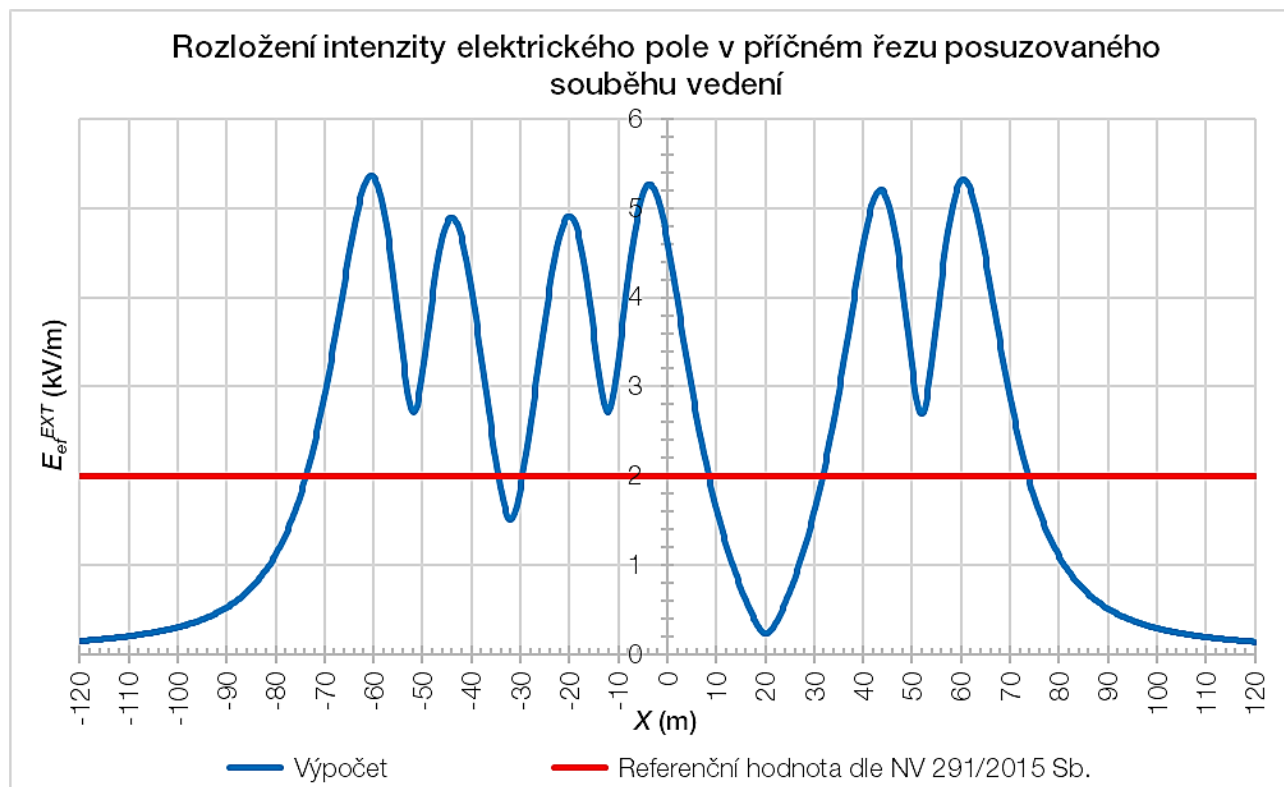
Die Kurven des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke und des Effektivwerts der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparelführung in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände sind in Abb. 12 und Abb. 13 dargestellt. Der Verlauf der modifizierten elektrischen Feldstärke im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände wird in Abb. 14 dargestellt. Diese Verläufe sind im Vergleich zu den Referenzwerten gemäß der Verordnung NV 2015 für natürliche Personen im kommunalen (nicht beruflichen) Umfeld dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen und der Auswertung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion sind in Tab. 10 zusammengefasst.

Konformitätsaussage:

Der geplante Zustand der Parallelführung einer einfachen 400-kV-Freileitung in Delta-Form (Leistungsabgabe SMR ETE) mit zwei einfachen 400-kV-Freileitungen in Delta-Form (ETE 1,2) entspricht den Anforderungen der Regierungsverordnung Nr. 291/2015 Sb. für natürliche Personen im kommunalen (nicht beruflichen) Umfeld und der Norm ČSN 33 2040 „Elektrotechnische Vorschriften“. Schutz vor den Auswirkungen von 50-Hz-Elektromagnetfeldern im Einflussbereich von Betriebsmitteln elektrischer Anlagen.

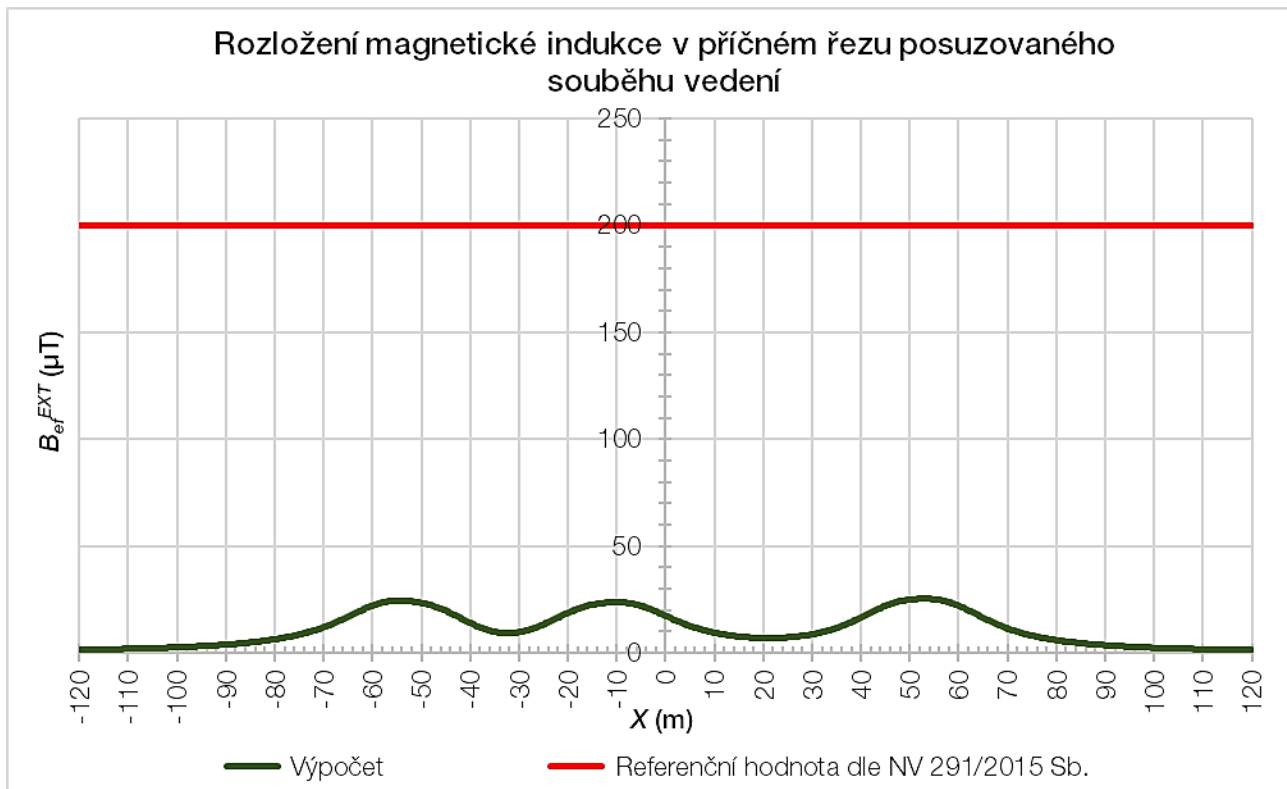
Tab. 10 Berechnungsergebnisse und Bewertung der Referenzwerte für E und B in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände

$B_{ef}^{EXT_max}$ (μT)	$E_{ef}^{EXT_max}$ (kV/m)	H (-)	H_{lim} (-)	$H \leq H_{lim}$	E_{mod_max} (V/m)	ΔE_{mod} (mV/m)	δE_{mod} (%)
25,36	5,36	0,56	0,2	NEIN	0,048	0,22	0,45



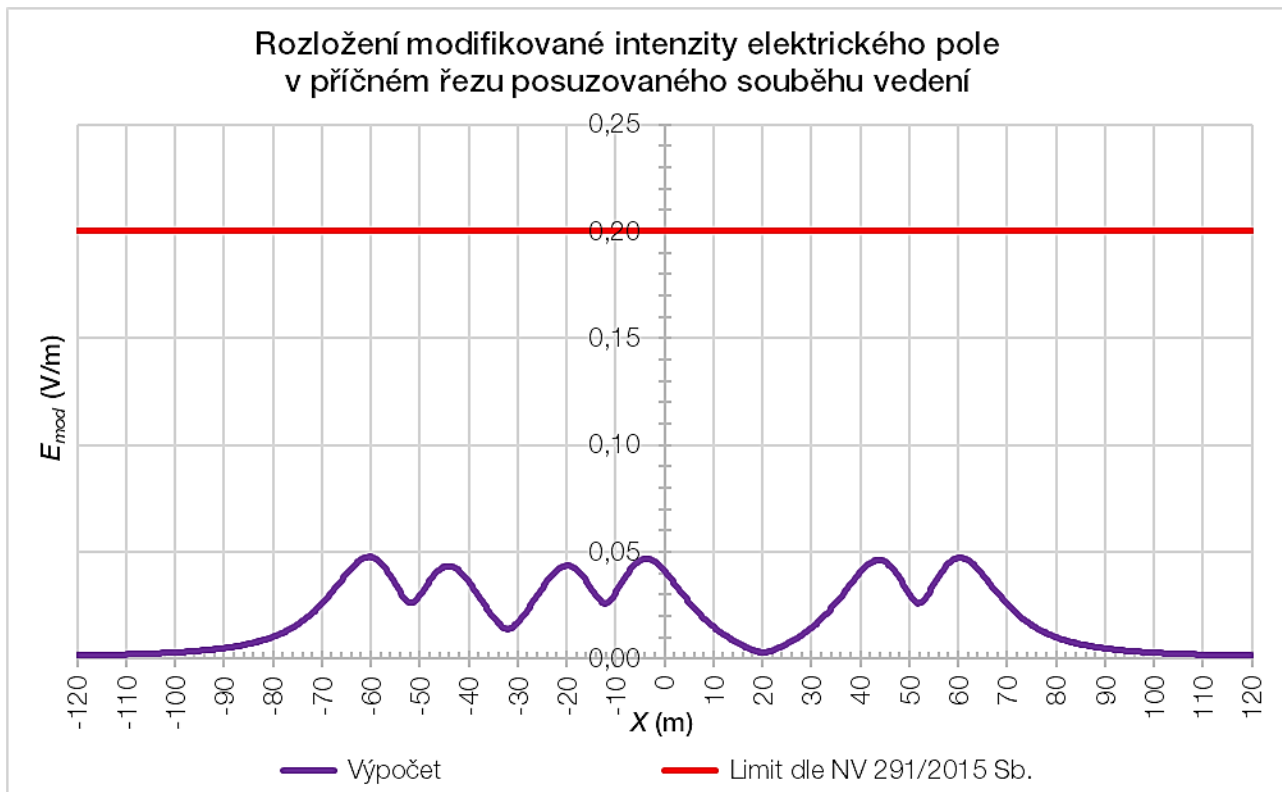
Rozložení intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 12 Elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparellführung



Rozložení magnetické indukce v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparellführung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 13 Magnetische Induktion in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparellführung



Rozložení modifikované intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného souběhu vedení	Verteilung der modifizierten elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungsparallelführung
Výpočet	Berechnung
Limit dle NV 291/2015 Sb.	Grenzwert laut NV 291/2015 Sb.

Abb. 14 Modifizierte elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände abhängig vom Abstand von der Achse der zu untersuchenden Leitungsparallelführung

6.3 KREUZUNG VON UNTERIRDISCHEN 110-KV-KABELN (VERSORGUNG DES EIGENVERBRAUCHS VON SMR ETE) MIT DEN 400-KV- UND 110-KV-FREILEITUNGEN DER BESTEHENDEN BLÖCKE

Die Kurven des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke und des Effektivwerts der magnetischen Induktion im Schnitt der untersuchten Leitungskreuzung in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände sind in Abb. 15 und Abb. 16 dargestellt. Der Verlauf der modifizierten elektrischen Feldstärke im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände wird in Abb. 17 dargestellt. Die Kurven des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke und des Effektivwerts der magnetischen Induktion im Schnitt der untersuchten Leitungskreuzung in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände sind in Abb. 18 und Abb. 19 dargestellt. Der Verlauf der modifizierten elektrischen Feldstärke im menschlichen Gewebe in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände wird in Abb. 20 dargestellt. Diese Verläufe sind im Vergleich zu den Referenzwerten gemäß der Verordnung NV 2015 für natürliche Personen im kommunalen (nicht beruflichen) Umfeld dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen und der Auswertung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion sind für eine Höhe von 1,8 m über dem Boden in Tab. 11 sowie für eine Höhe von 0,1 m über dem Boden in Tab. 12 zusammengefasst.

Konformitätsaussage:

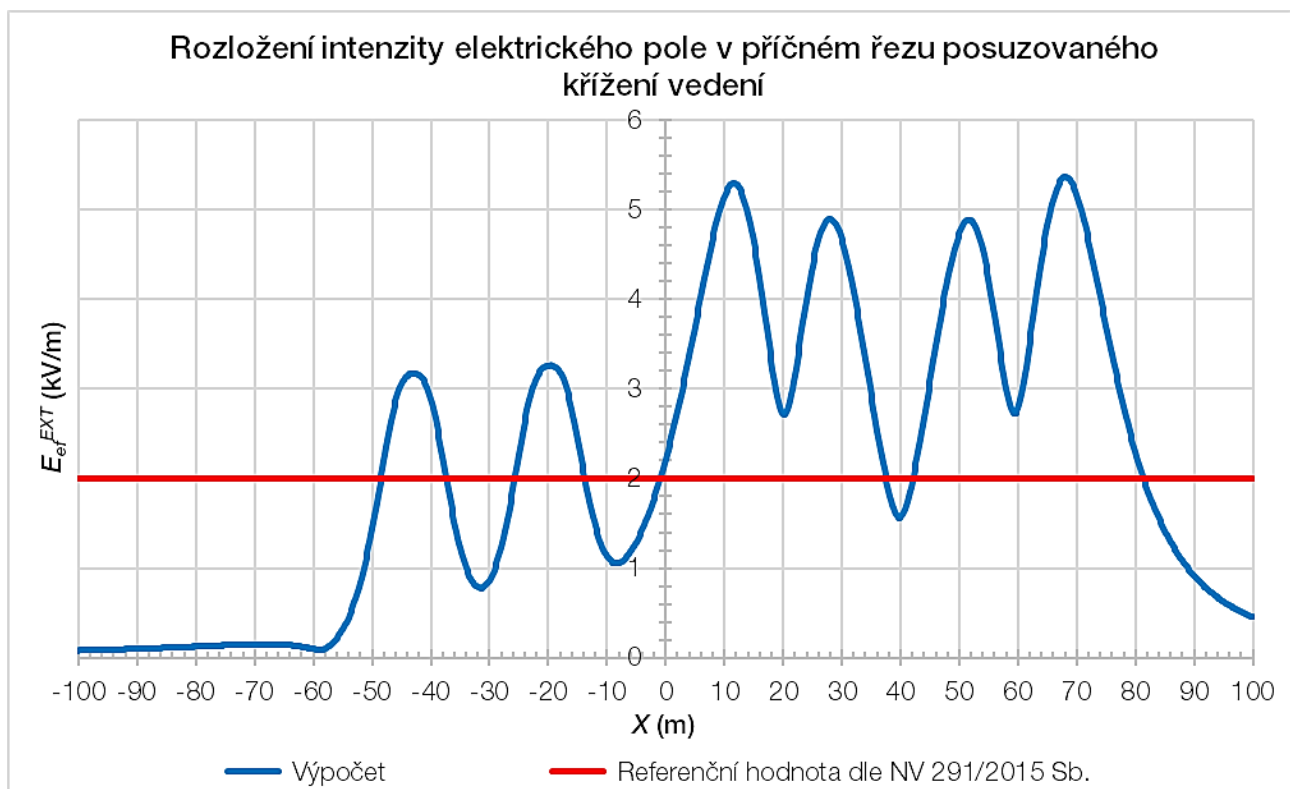
Der geplante Zustand der Kreuzung von unterirdischen 110-kV-Kabelleitungen (zur Versorgung des Eigenverbrauchs des SMR ETE) mit zwei 400-kV-Einphasen-Delta-Freileitungen (zur Versorgung des ETE 1.2) und zwei 110-kV-Tonne-Freileitungen (zur Versorgung des Eigenverbrauchs des ETE 1.2) entspricht den Anforderungen der NV 2015 für Personen im kommunalen (nicht-beruflichen) Umfeld und der ČSN 33 2040 „Elektrizitätsvorschriften. Schutz vor den Auswirkungen von 50-Hz-Elektromagnetfeldern im Einflussbereich von Betriebsmitteln elektrischer Anlagen“.

Tab. 11 Berechnungsergebnisse und Bewertung der Referenzwerte für E und B in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände

$B_{ef}^{EXT_{max}}$ (μT)	$E_{ef}^{EXT_{max}}$ (kV/m)	H (-)	H_{lim} (-)	$H \leq H_{lim}$	$E_{mod_{max}}$ (V/m)	ΔE_{mod} (mV/m)	δE_{mod} (%)
35,05	5,36	0,57	0,2	NEIN	0,049	0,30	0,61

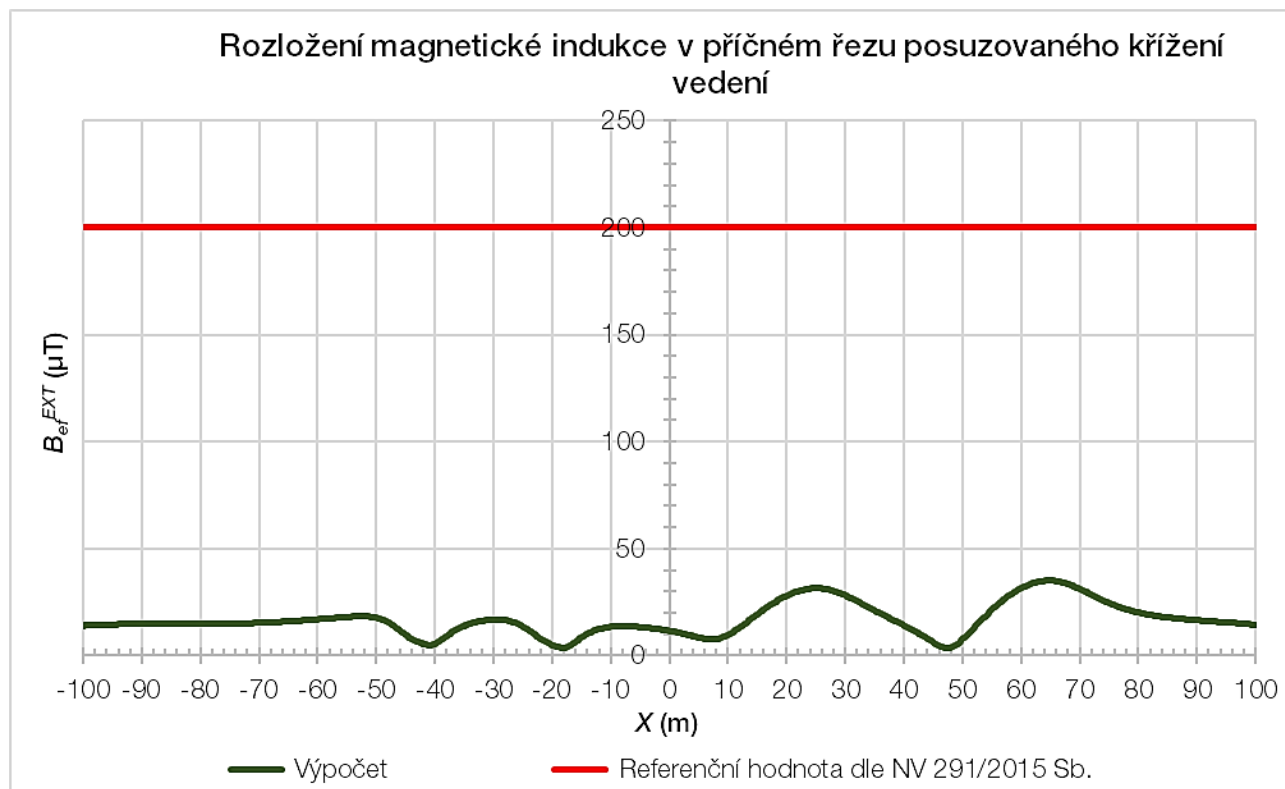
Tab. 12 Berechnungsergebnisse und Bewertung der Referenzwerte für E und B in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände

$B_{ef}^{EXT_{max}}$ (μT)	$E_{ef}^{EXT_{max}}$ (kV/m)	H (-)	H_{lim} (-)	$H \leq H_{lim}$	$E_{mod_{max}}$ (V/m)	ΔE_{mod} (mV/m)	δE_{mod} (%)
63,25	5,18	0,58	0,2	NEIN	0,052	0,54	1,04



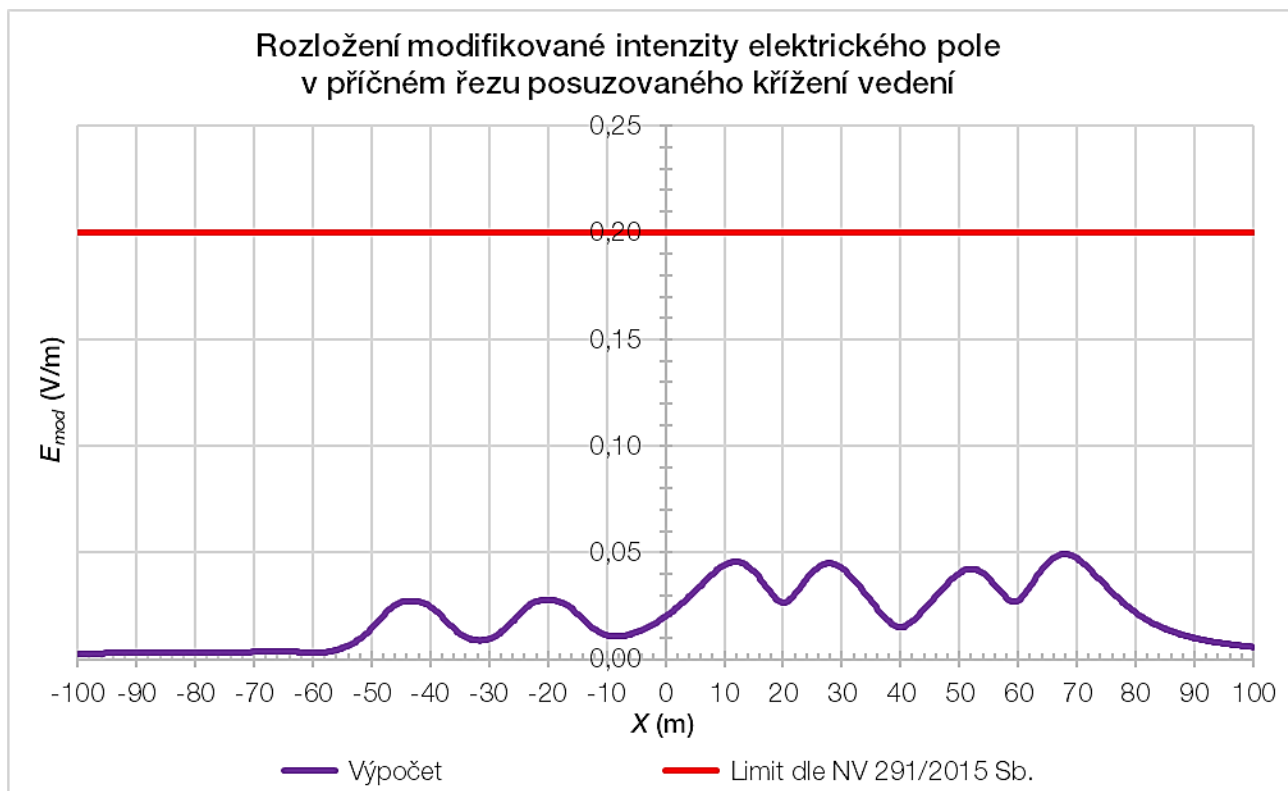
Rozložení intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Kreuzung der Leitung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 15 Elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung



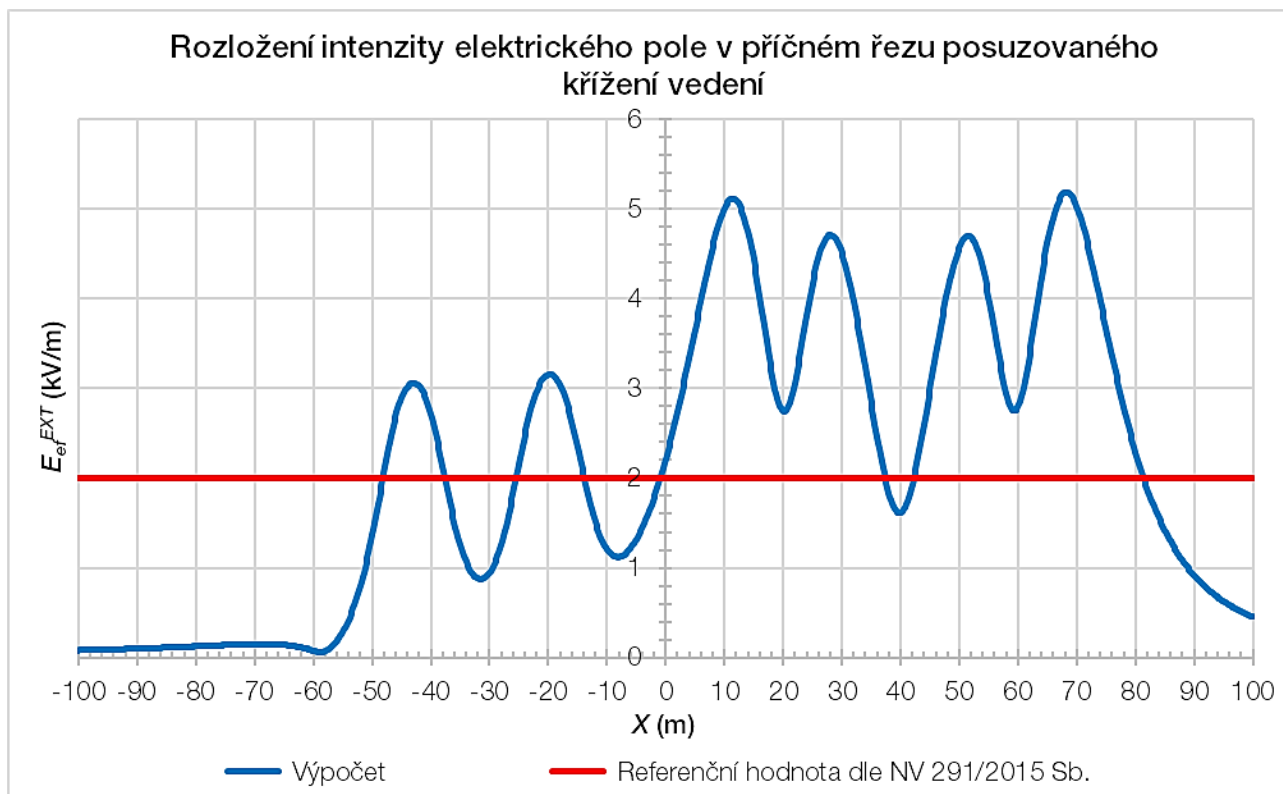
Rozložení magnetické indukce v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungskreuzung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 16 Magnetische Induktion in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung



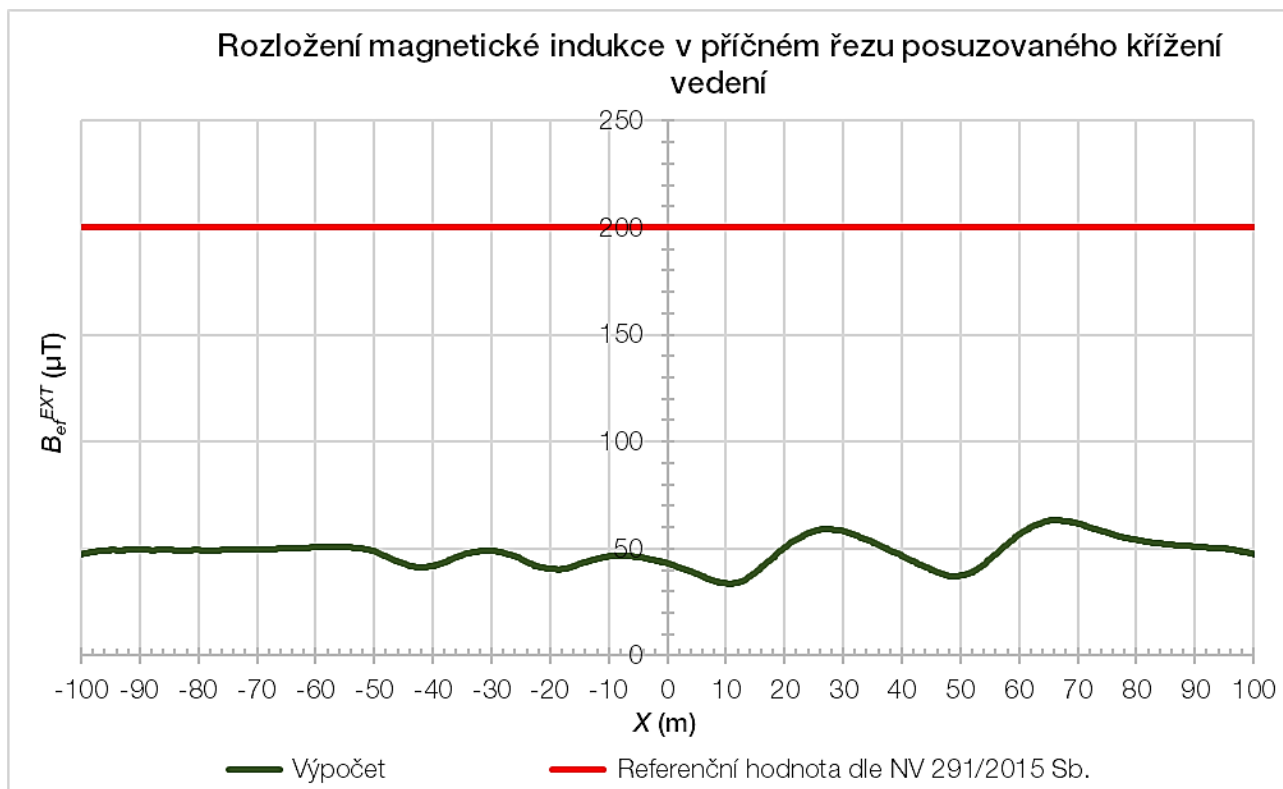
Rozložení modifikované intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der modifizierten elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungskreuzung
Výpočet	Berechnung
Limit dle NV 291/2015 Sb.	Grenzwert laut NV 291/2015 Sb.

Abb. 17 Modifizierte elektrische Feldstärke in einer Höhe von 1,8 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung



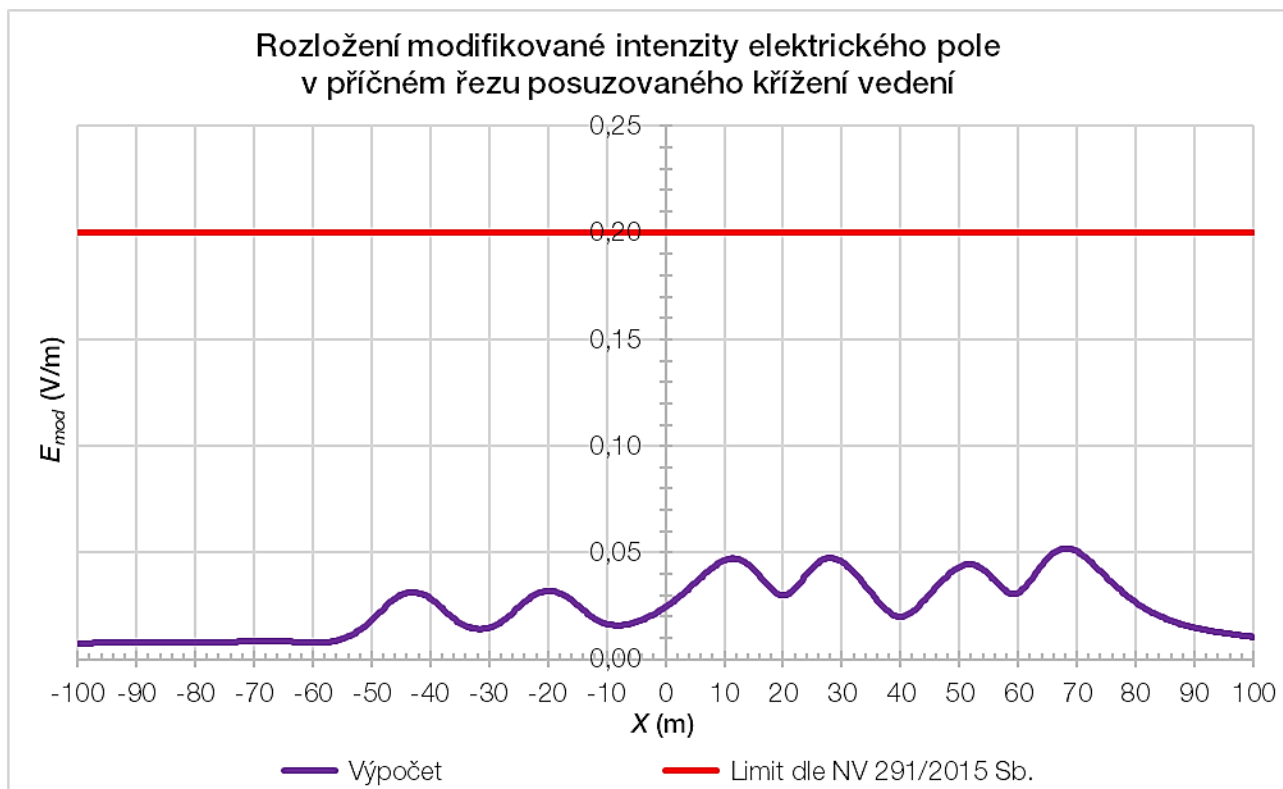
Rozložení intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Kreuzung der Leitung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 18 Elektrische Feldstärke in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung



Rozložení magnetické indukce v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der magnetischen Induktion im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungskreuzung
Výpočet	Berechnung
Referenční hodnota dle NV 291/2015 Sb.	Referenzwert gemäß Regierungsverordnung 291/2015 Sb.

Abb. 19 Magnetische Induktion in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung



Rozložení modifikované intenzity elektrického pole v příčném řezu posuzovaného křížení vedení	Verteilung der modifizierten elektrischen Feldstärke im Querschnitt der zu untersuchenden Leitungskreuzung
Výpočet	Berechnung
Limit dle NV 291/2015 Sb.	Grenzwert laut NV 291/2015 Sb.

Abb. 20 Modifizierte elektrische Feldstärke in einer Höhe von 0,1 m über dem Gelände in Abhängigkeit vom Abstand von der Achse des zu untersuchenden Schnitts der Leitungskreuzung

– Ende des Protokolls –