

Výsledky letových měření vleček zdrojů za typických povětrnostních situací

Autoři:
Evžen Černý
RNDr Josef Keder, CSc

ČHMÚ
Praha, listopad 1995

Úvod

V souvislosti s přípravou zavedení nové metodiky pro výpočet znečištění ovzduší ze stacionárních zdrojů byla mezi jiným nastolena otázka, jaké vzorce pro výpočet efektivní výšky vlečky zdroje použít namísto dosud používaného vztahu Lucas-Moore-Spurr. V úvahu připadaly známé vzorce Briggsovy, běžně používané například v modelech US EPA, a jakožto alternativa formule Lucasova - Moorova, modifikovaná na základě statistického vyhodnocení údajů REZZO1 [1]. Otázka volby vhodného vztahu pro výpočet převýšení kouřových vleček nabývá na významu zejména v souvislosti s výpočty šíření znečišťujících látek z velkých zdrojů, umístěných v blízkosti společných hranice se sousedními státy.

Posouzení, který z empiricko-teoretických vztahů pro výpočet efektivních výšek kouřových vleček je vhodný pro podmínky ČR, je možné provést například na základě verifikace výsledků teoretických výpočtů porovnáním s experimentálními daty, získanými z letových měření rozložení koncentrací znečišťujících látek v závětrí velkých zdrojů s vysokými komíny. V souladu se zadáním dílčího projektu bylo proto rozhodnuto navázat na zkušenosti, získané s letovými měřeními elektrárenských vleček v roce 1994 [2], a podle modifikovaných letových scénářů provést měření výšek kouřových vleček velkých elektráren v severozápadních Čechách.

Metodika letových měření a zpracování naměřených údajů

Letová měření kouřových vleček elektráren v severozápadních Čechách se prováděla v období od 10. října do 21. listopadu 1995. Výběr vhodných dnů pro měřicí lety byl limitován podmínkami počasí. V souladu se stanovenými letovými scénáři byly lety prováděny zejména ve dnech, kdy se podle meteorologické prognózy dalo očekávat proudění o rychlosti pod 10 ms^{-1} a stabilní teplotní zvrstvení v ranních a dopoledních hodinách alespoň v části vrstvy atmosféry, v níž se pohybovaly kouřové vlečky. Současně musela být dodržena podmínka přímé viditelnosti zemského povrchu z každé použité letové hladiny, což vyplývá z leteckých řádů a předpisů, platných pro použitý typ letadla. Údaje z posledních měřicích letů, které se z výše uvedených důvodů mohly uskutečnit až ve druhé polovině listopadu 1995, nebyly v termínu odevzdání této zprávy dosud zpracovány a nejsou proto do zprávy zařazeny.

Měření koncentrací SO_2 a NO_x ve vlečkách se provádělo během vodorovných průletů ve směru kolmém na osu vlečky. V dané vzdálenosti od zdroje bylo uskutečněno několik vodorovných průletů vlečkou v různých výškových hladinách, přičemž jeden z nich byl veden co nejbližše předpokládané ose vlečky a alespoň jeden průlet se prováděl ve výškové hladině nad vlečkou nebo pod ní. Pokud to dovozovaly podmínky, byly provedeny vždy alespoň dvě série vodorovných průletů vlečkou v různých vzdálenostech od zdroje.

Před každou sérií vodorovných řezů byl na návětrné straně zdroje proveden vertikální výstup do hladiny 2000 m nad mořem, během kterého byly čidly umístěnými na letadle změřeny vertikální profily teploty a vlhkosti vzduchu. Pro každý vertikální řez byly rovněž k dispozici vertikální profily větru ze sodaru v Tušimicích.

Popsaným postupem bylo pro každý pro každou sérii vodorovných průletů získáno pole bodů, ležících v rovině kolmé na osu vlečky a reprezentovaných souřadnicemi: vodorovná vzdálenost - nadmořská výška - koncentrace. Byla provedena objektivní analýza těchto polí a rozložení koncentrací znečišťujících látek v rovině vertikálního řezu vlečkou bylo reprezentováno pomocí izolinií koncentrací. Rozložení koncentrace SO_2 v rovinách kolmých na kouřové vlečky, analyzovaná z dat naměřených 10.10.95, 23.10.95 a 24.10.95 jsou znázorněna na přiložených grafech. Nadmořské výšky paty a koruny komína

měřeného zdroje jsou vymezeny vertikální úsečkou. Z rozložení izolinií koncentrace je možno odhadnout polohu osy kouřové vlečky, stanovit její převýšení nad ústím komína a určit jeho efektivní výšku.

Výpočet efektivních výšek komínů, porovnání vypočítaných hodnot s naměřenými

Základním vstupním parametrem pro výpočet efektivní výšky zdroje je jeho tepelná vydatnost. Operativní měření parametrů zdrojů pro její stanovení, t.j. teploty a rychlosti průtoku spalin, není dosud v ČR zavedeno a tepelnou vydatnost zdrojů v době, kdy byla prováděna měření, bylo nutno odhadnout z údajů o okamžitých výkonech elektráren, které poskytl ČEZ a.s. V zahraniční literatuře se obvykle udává hodnota 1/7 jak přepočítávací konstanta mezi elektrickým výkonem elektrárny P_e a tepelnou vydatností Q_h . V dosud platné metodice ČR se používá přepočet $Q_h = 0.32P_e$. Pro výpočty podle Briggsových vzorců někteří autoři používají rychlost větru v úrovni ústí komína, v jiných pracích se rychlost větru bere jako průměrná hodnota rychlosti ve vrstvě mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky.

Pro výpočet efektivních výšek zdrojů byly k dispozici tyto údaje:

- výkony elektráren v době letových měření vleček
- vertikální profily teploty z letových měření
- vertikální profily rychlosti větru ze sodaru
- výšky os vleček, zjištěných analýzou polí koncentrací z letových měření

Z těchto vstupních údajů byly pro všechny termíny měření stanoveny:

- tepelné vydatnosti zdrojů pro obě varianty přepočtu, $Q_h = 0.32P_e$ a $Q_h = P_e/7$
- teplotní gradient ve vrstvě mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky, zjištěnou z letových měření
- rychlost větru v úrovni ústí komína
- průměrná rychlost větru ve vrstvě mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky

Efektivní výšky komínů byly vypočteny

- podle vztahů, navrhovaných v [1] s příslušnými korekcemi na stabilitu a pro přepočet $Q_h = 0.32P_e$
- podle Briggsových vzorců, přepočet $Q_h = 0.32P_e$ a rychlost větru v úrovni ústí komína
- podle Briggsových vzorců, přepočet $Q_h = 0.32P_e$ a průměrnou rychlost větru mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky
- podle Briggsových vzorců, přepočet $Q_h = P_e/7$ a rychlost větru v úrovni ústí komína
- podle Briggsových vzorců, přepočet $Q_h = P_e/7$ a průměrnou rychlost větru mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky.

Vypočítané hodnoty efektivních výšek byly srovnány s experimentálními údaji, získanými z letových měření. Výsledky srovnání shrnují sloupkové grafy, zpracované odděleně pro případy stabilního a normálního (neutrálního) teplotního zvrstvení ve vrstvě, v níž se šířily sledované vlečky. Sloupky vyznačují vypočítanou hodnotu efektivní výšky vyznačeného zdroje, body spojené linií znázorňují hodnoty naměřené.

Z porovnání vypočítaných a naměřených údajů vyplývá:

- použití přepočtu $Q_h = P_g / 7$ podhodnocuje efektivní výšku, počítanou podle Briggsových vzorců
- použití průměrné rychlosti větru mezi úrovní ústí komína a vlečkou v Briggsových vzorcích vedlo vesměs k podhodnocení efektivní výšky při stabilním zvrstvení
- pro malé vzdálenosti od zdrojů, kde vlečka ještě nedosahuje maximální výšky, vede při stabilním zvrstvení použití vztahů navrhovaných v nové metodice ČR většinou k podhodnocení efektivní výšky komína ve srovnání s Briggsovými vzorci
- z dosud analyzovaných případů vyplývá, že při stabilním zvrstvení a slabém větru bude efektivní výška, stanovené podle nové metodiky, výrazně nadhodnocena; tento předpoklad bude ověřen na dosud nevyhodnocených sériích dat z letových měření
- v případě neutrálního zvrstvení je efektivní výška stanovená podle nové metodiky ČR podhodnocena, Briggsova metoda při použití rychlosti větru v hladině ústí komína výrazně nadhodnocuje. Použitím průměrné rychlosti větru v Briggsových vzorcích se nadhodnocení sníží.
- hodnoty efektivních výšek, stanovené pro normální zvrstvení, mohou být značně ovlivněny skutečností, že měření za tohoto typu stability byla prováděna pro elektrárny Ledvice a Počerady, které jsou umístěny daleko od sodaru v Tušimicích a o 120 m níže. Použité profily větru proto nemusí být pro oblast zmíněných zdrojů reprezentativní.

Konečné doporučení případné korekce vzorců pro výpočet efektivních výšek zdrojů, navrhovaných v nové metodice ČR, bude zformulováno po zanalyzování údajů z dosud nevyhodnocených letových dnů. Předběžné závěry naznačují, že bude nutno soustředit se zejména na korekce pro malé vzdálenosti od zdroje a případy malé rychlosti větru.

Literatura

- [1] **Bubník,J., Macoun,J., Maňák,J.:**Metodika výpočtu znečištění ovzduší ze stacionárních zdrojů. (EKOAIR, ČHMÚ, Státní program péče o životní prostředí MŽP ČR, projekt GA/3224-93, listopad 1994.)
- [2] **Černý,E., Keder,J.:** Letová měření vleček elektrárenských zdrojů v severních Čechách (ČHMÚ, Státní program péče o životní prostředí MŽP ČR, projekt GA/1268-93, listopad 1994.)

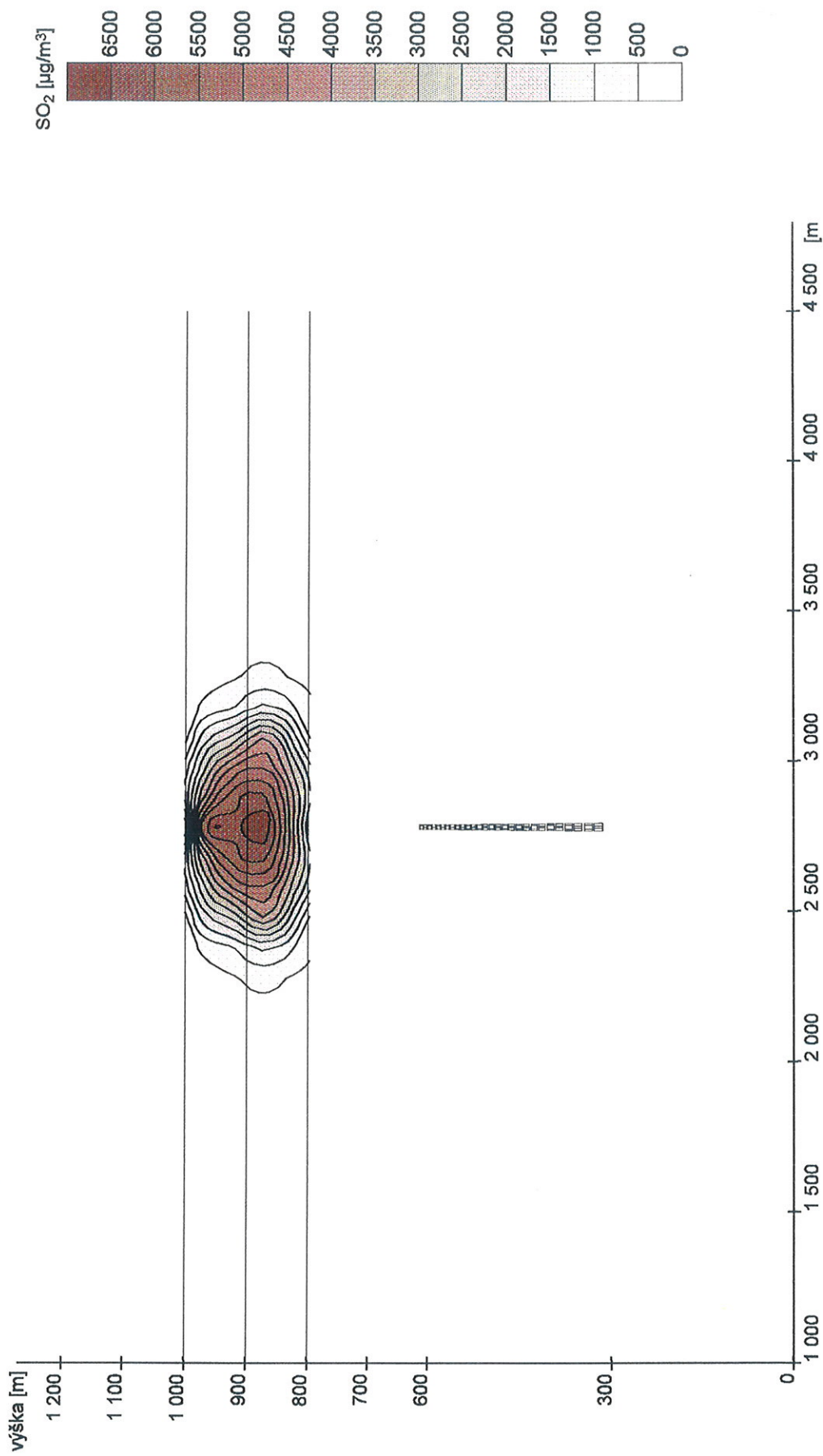
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 10. 10. 1995

Čas: 14:19 - 14:26 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 1 km



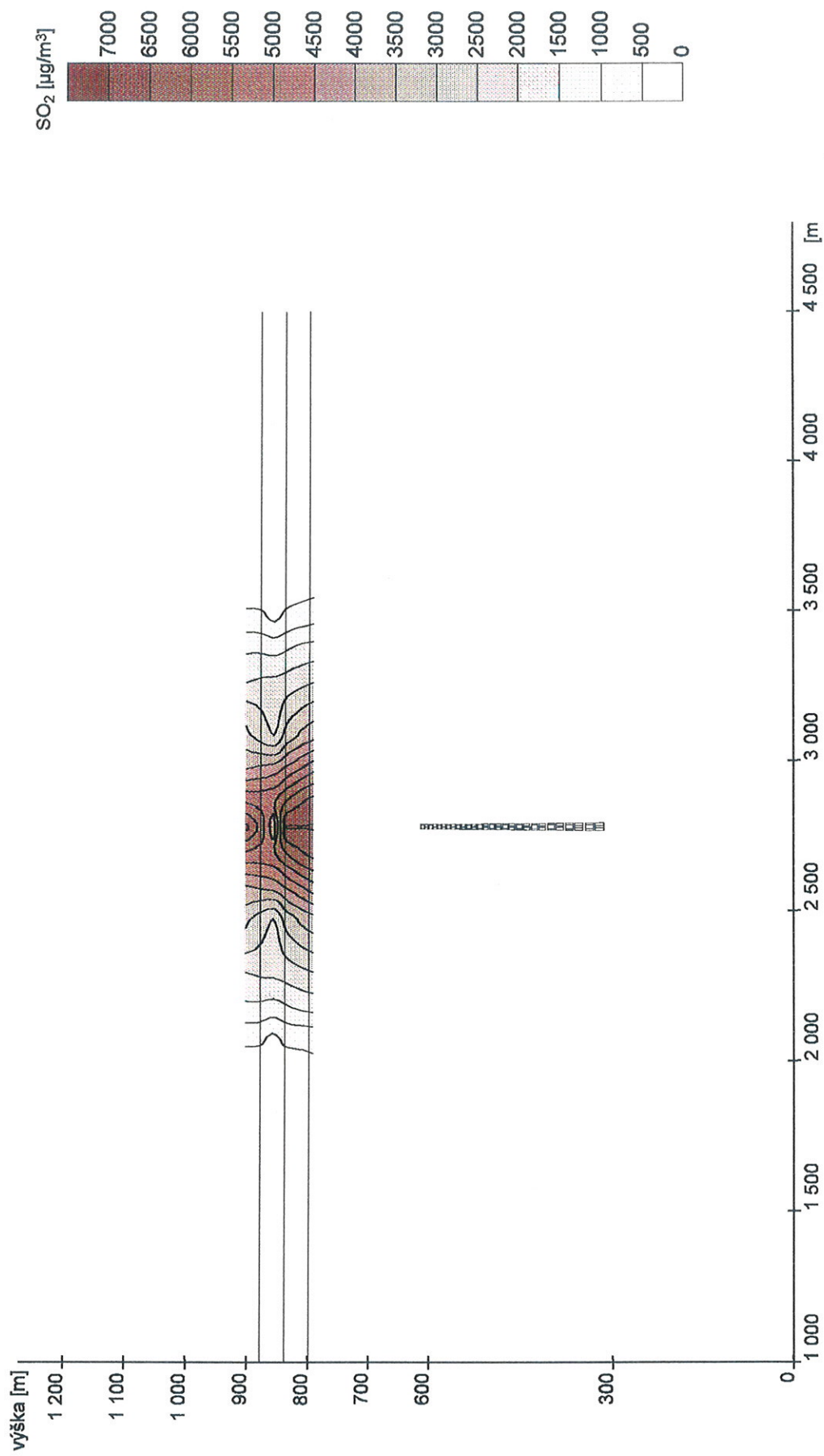
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 10. 10. 1995

Čas: 14:31 - 15:46 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 2 km



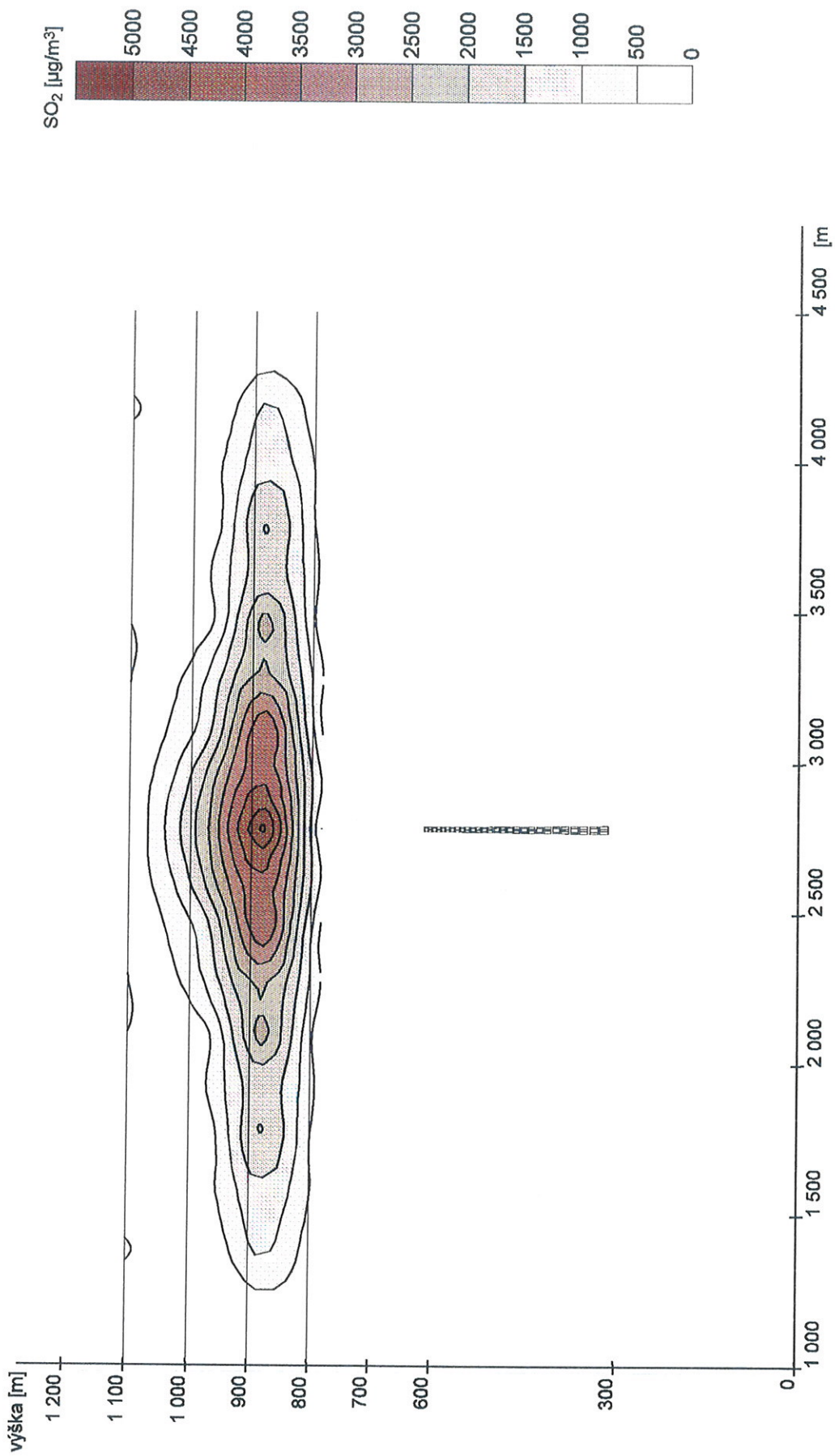
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 10. 10. 1995

Čas: 14:54 - 15:18 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 4 km



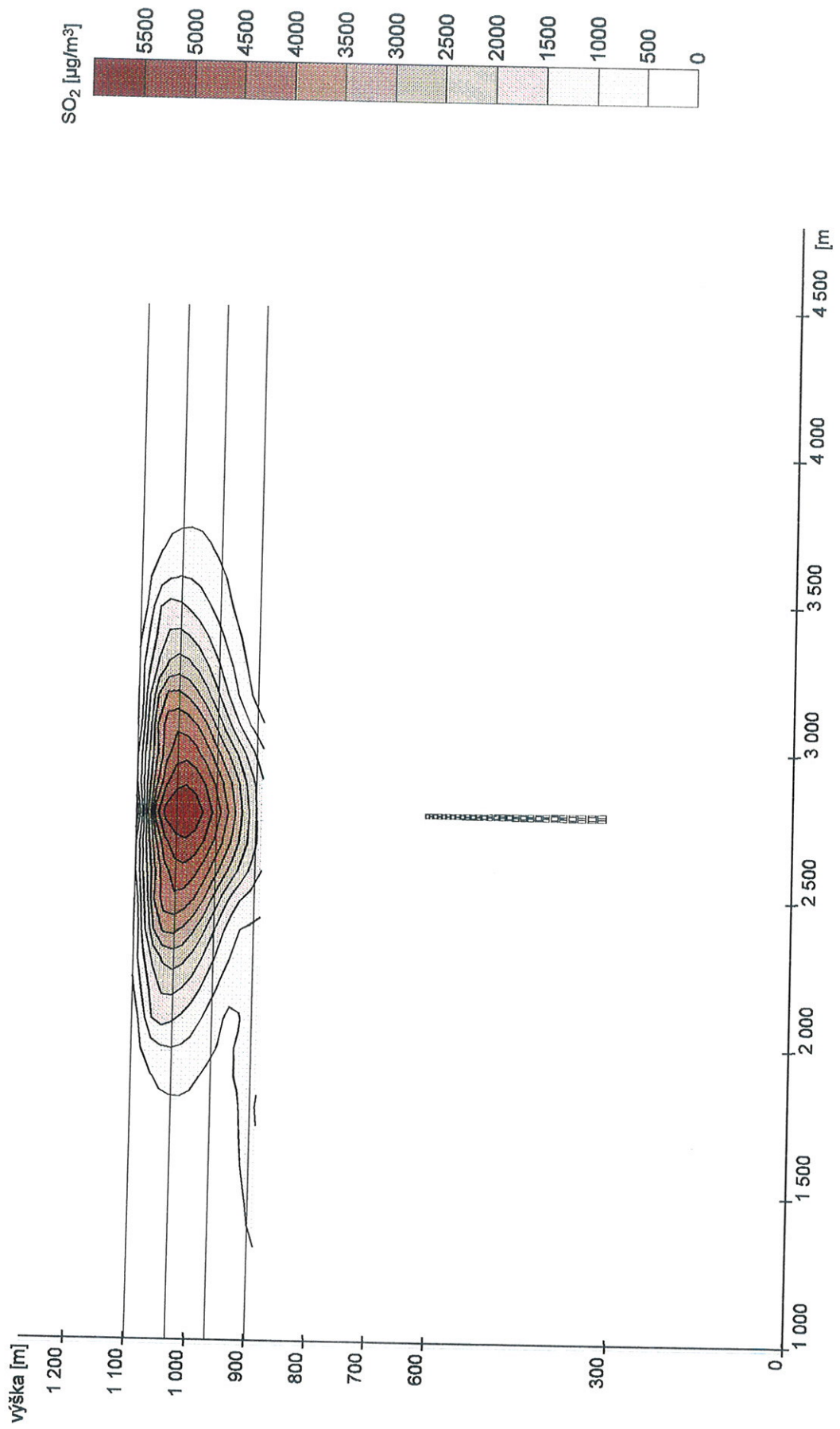
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 23. 10. 1995

Čas: 14:20 - 14:40 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 1 km



VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

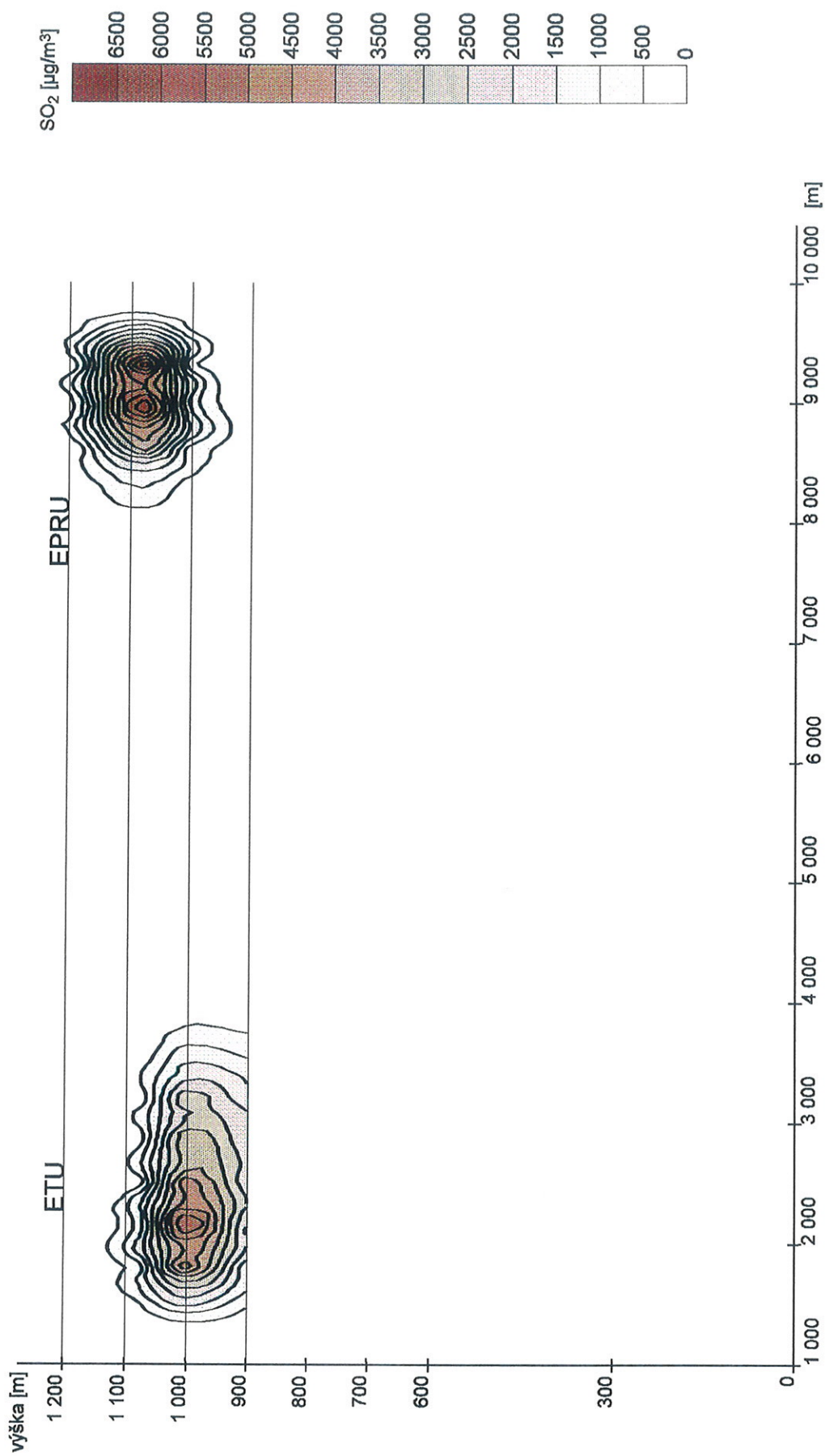
Datum: 23. 10. 1995

Čas: 14:42 - 15:06 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2 + Pruněřov 2

Vzdálenost od komína: Tušimice 4,4 km

Vzdálenost od komína: Pruněřov 1 km



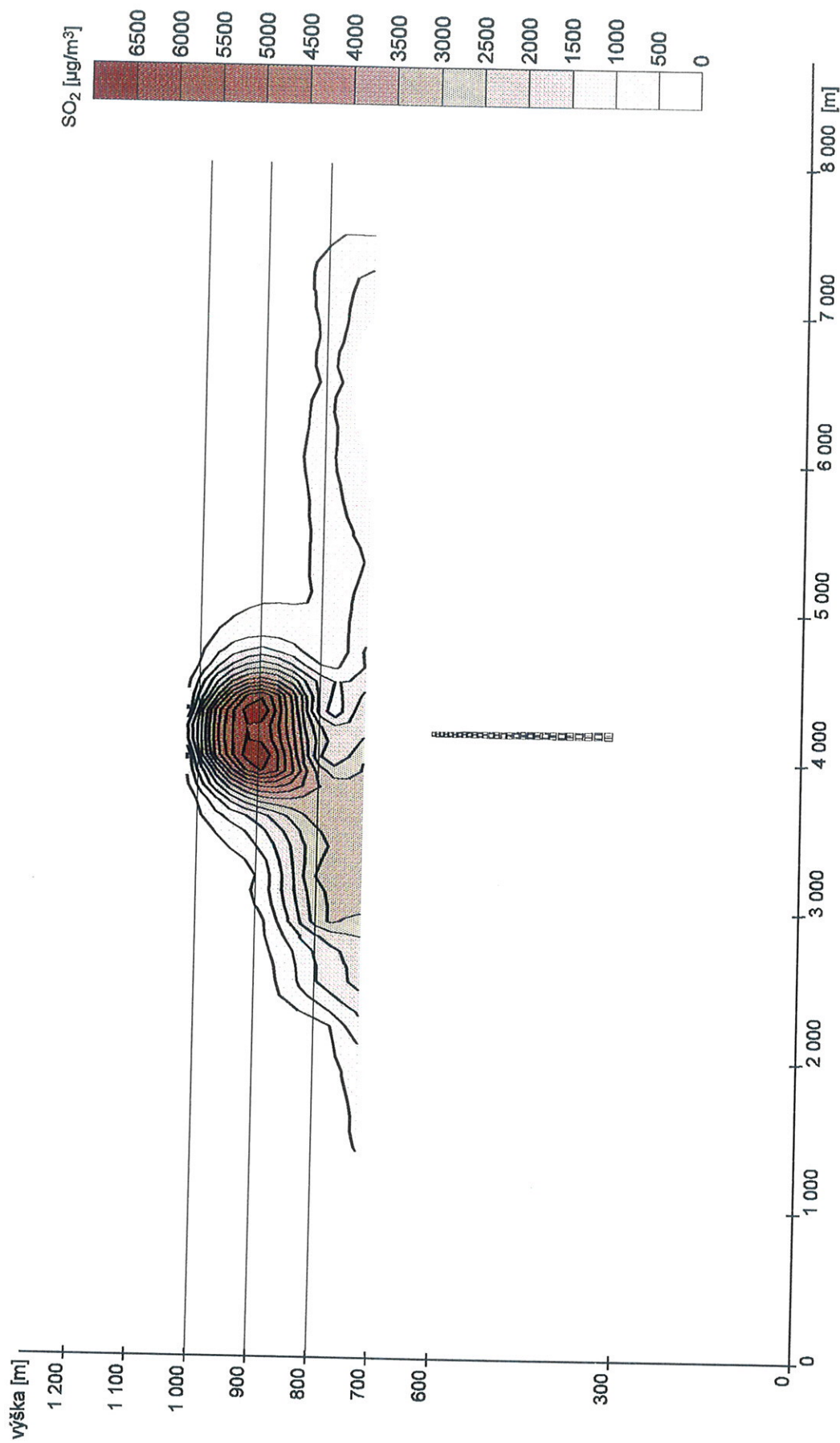
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

Čas: 8:32 - 8:48 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 1 km



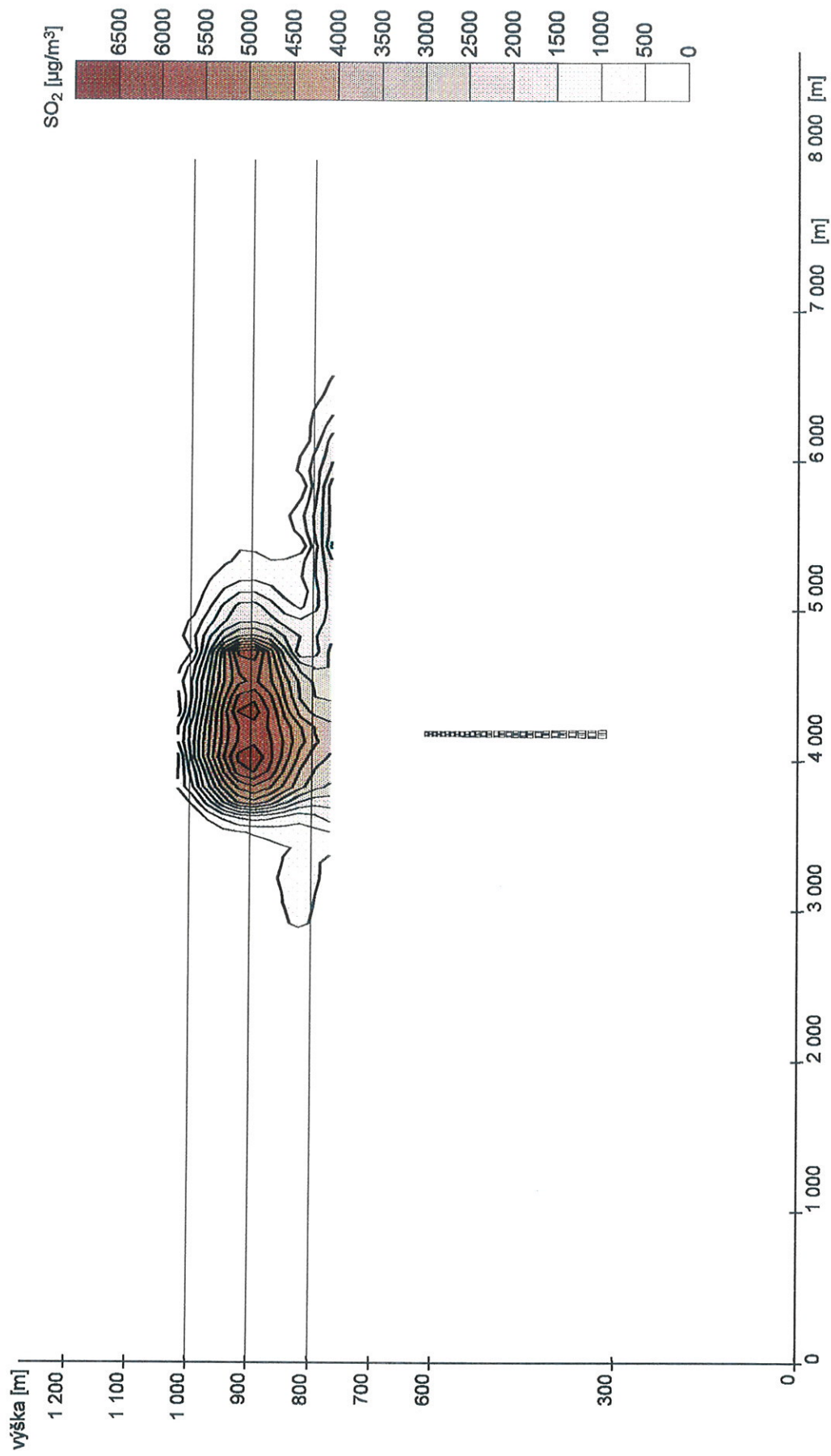
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

Čas: 8:57 - 9:07 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice

Vzdálenost od komína: 2 km



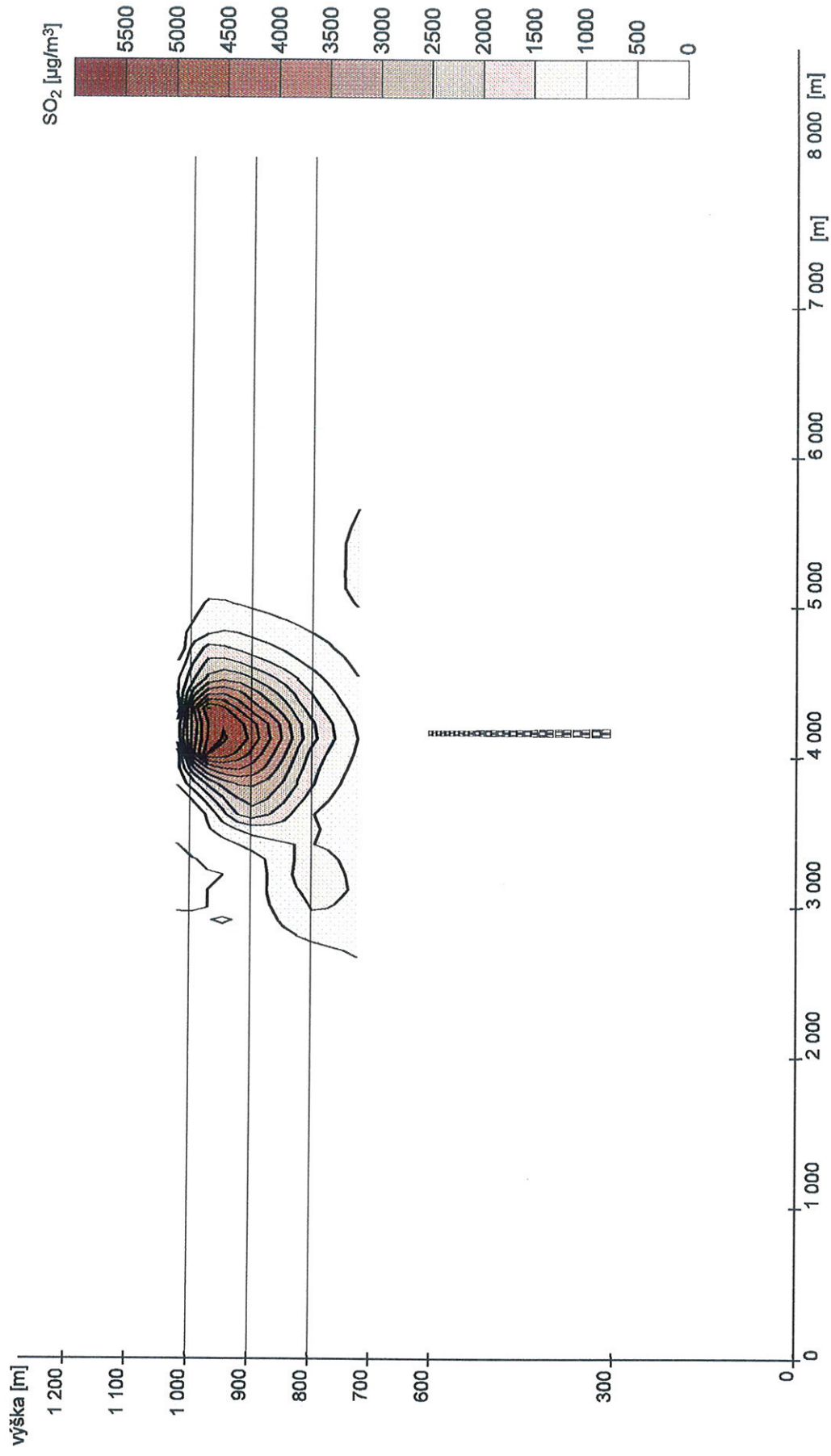
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

Čas: 9:15 - 9:26 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice 2

Vzdálenost od komína: 4 km



VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

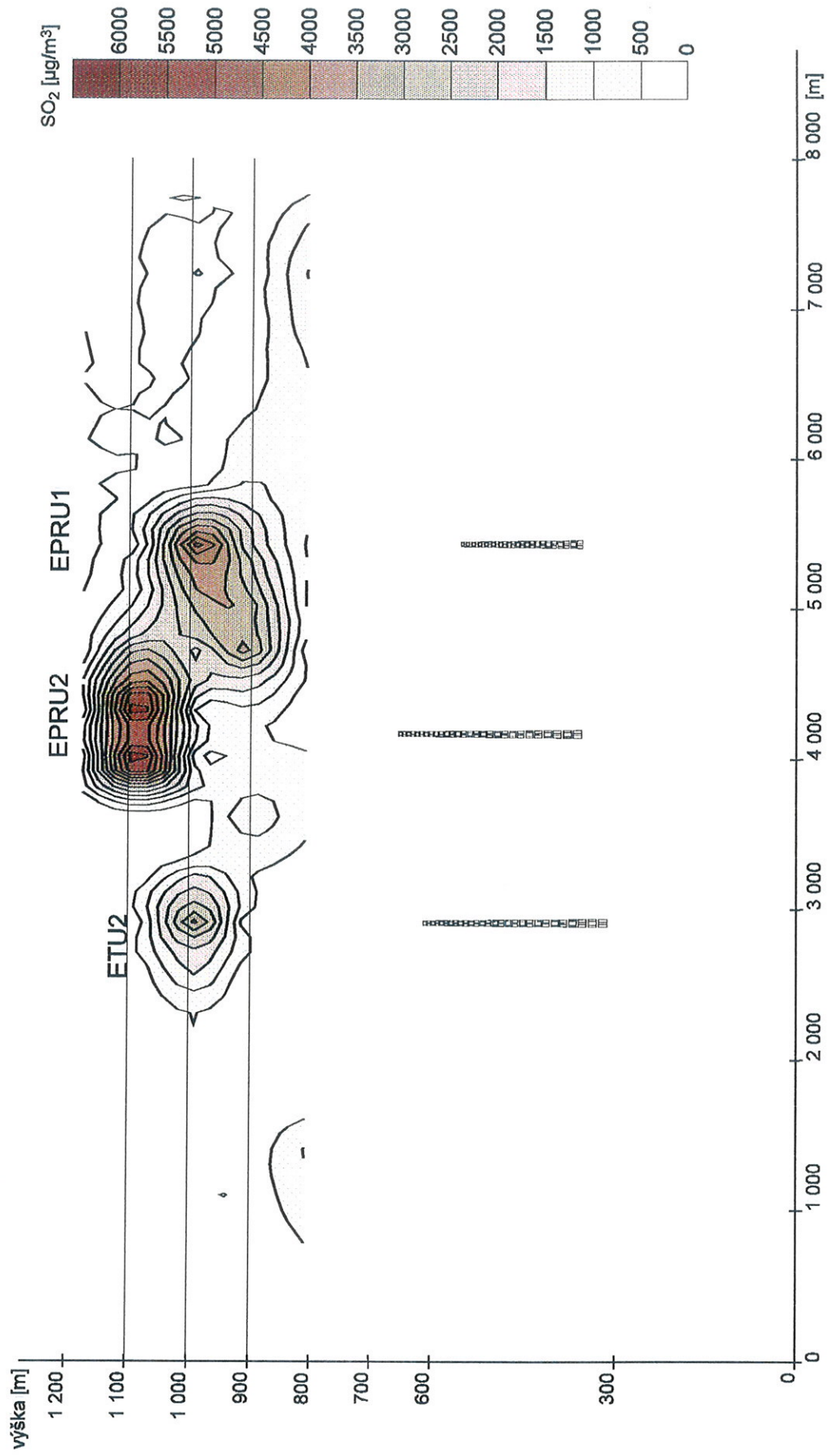
Datum: 24. 10. 1995

Čas: 9:34 - 9:49 UTC

Měřený objekt: El. Tušimice + Pruněřov

Vzdálenost od komína: Tušimice 7,5 km

Vzdálenost od komína: Pruněřov 1 km



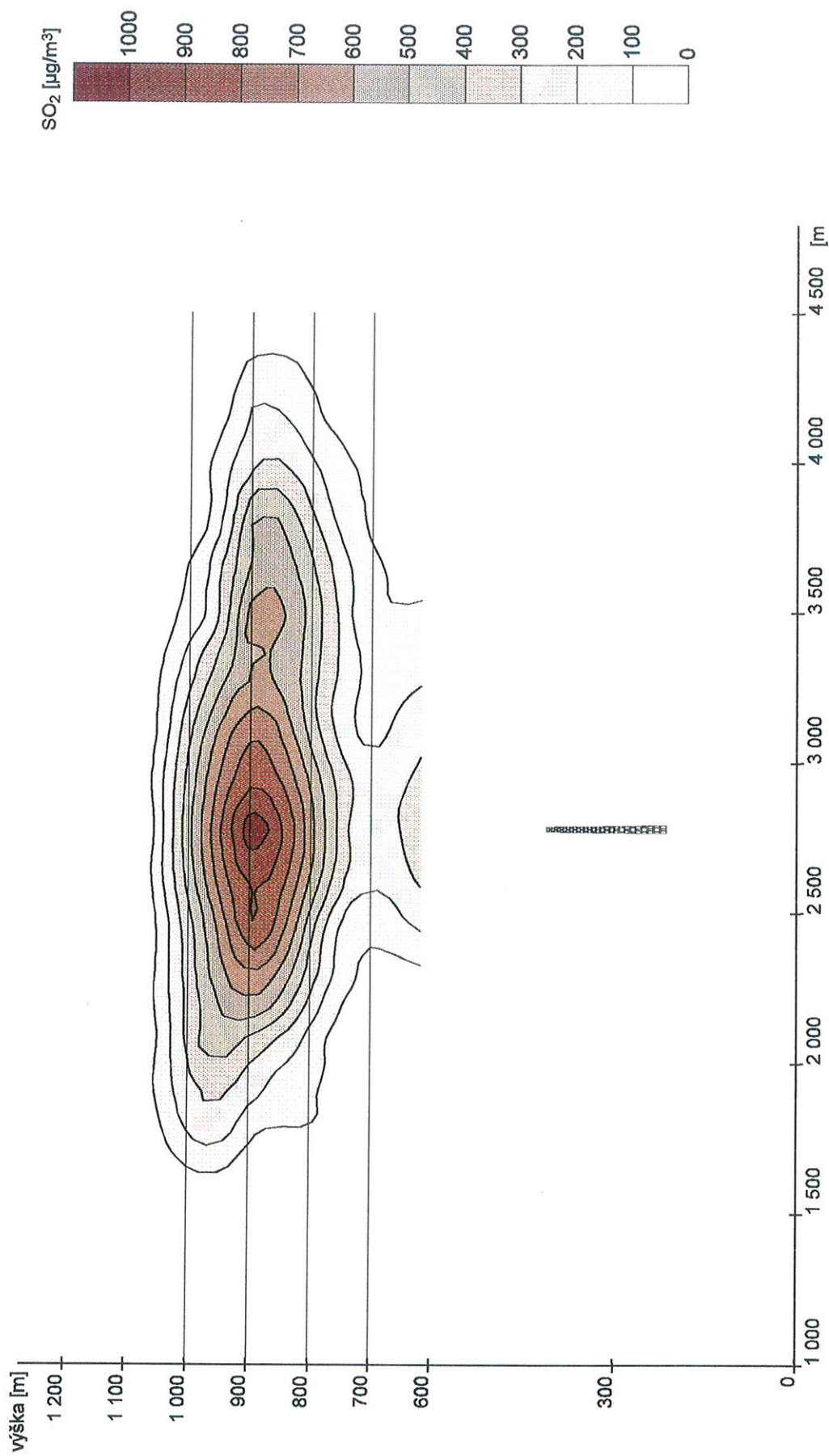
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

Čas: 13:56 - 14:19 UTC

Měřený objekt: El. Počeradý

Vzdálenost od komína: 4 km



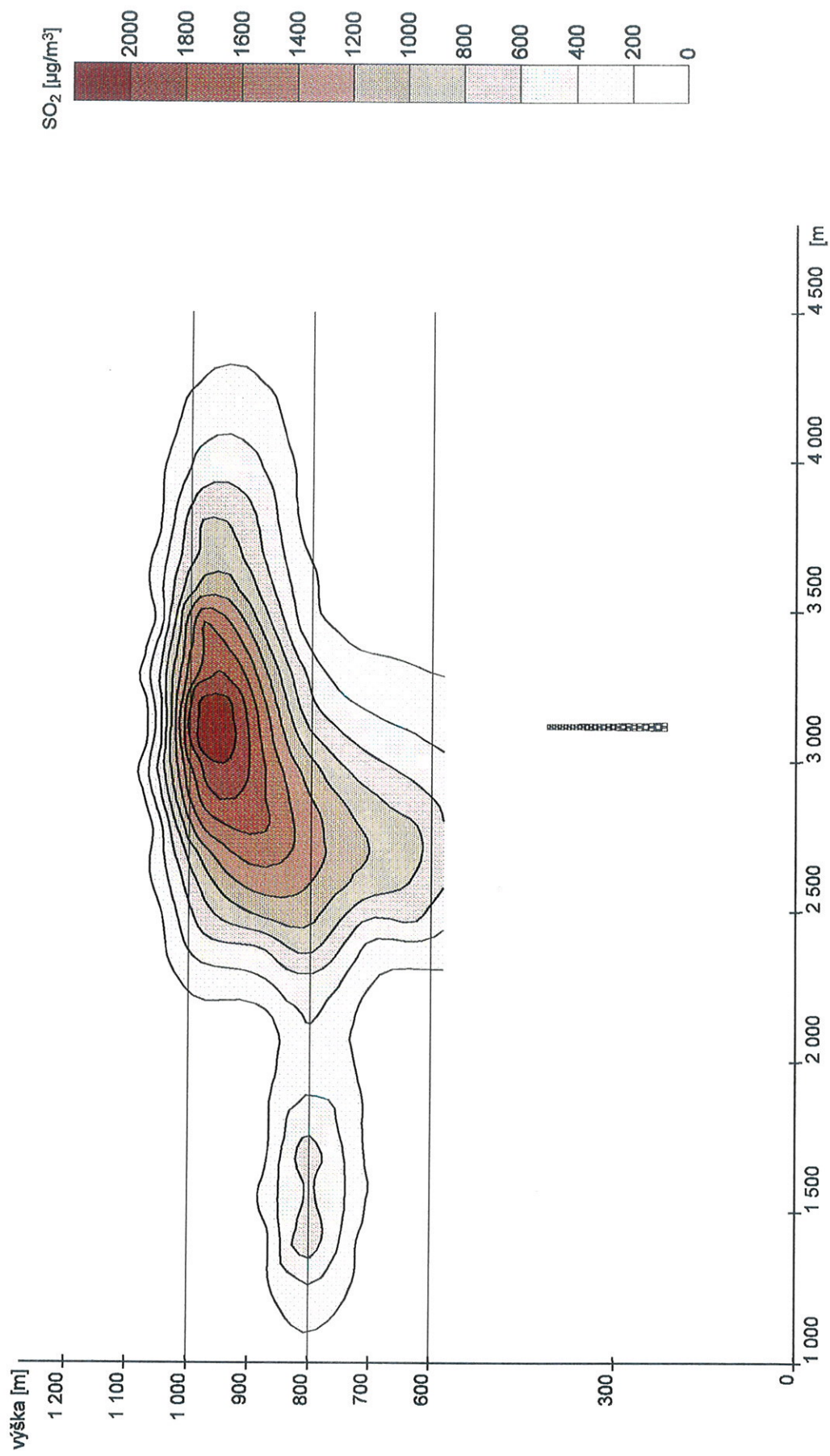
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

Čas: 14:23 - 14:45 UTC

Měřený objekt: El. Počeradý

Vzdálenost od komína: 2 km



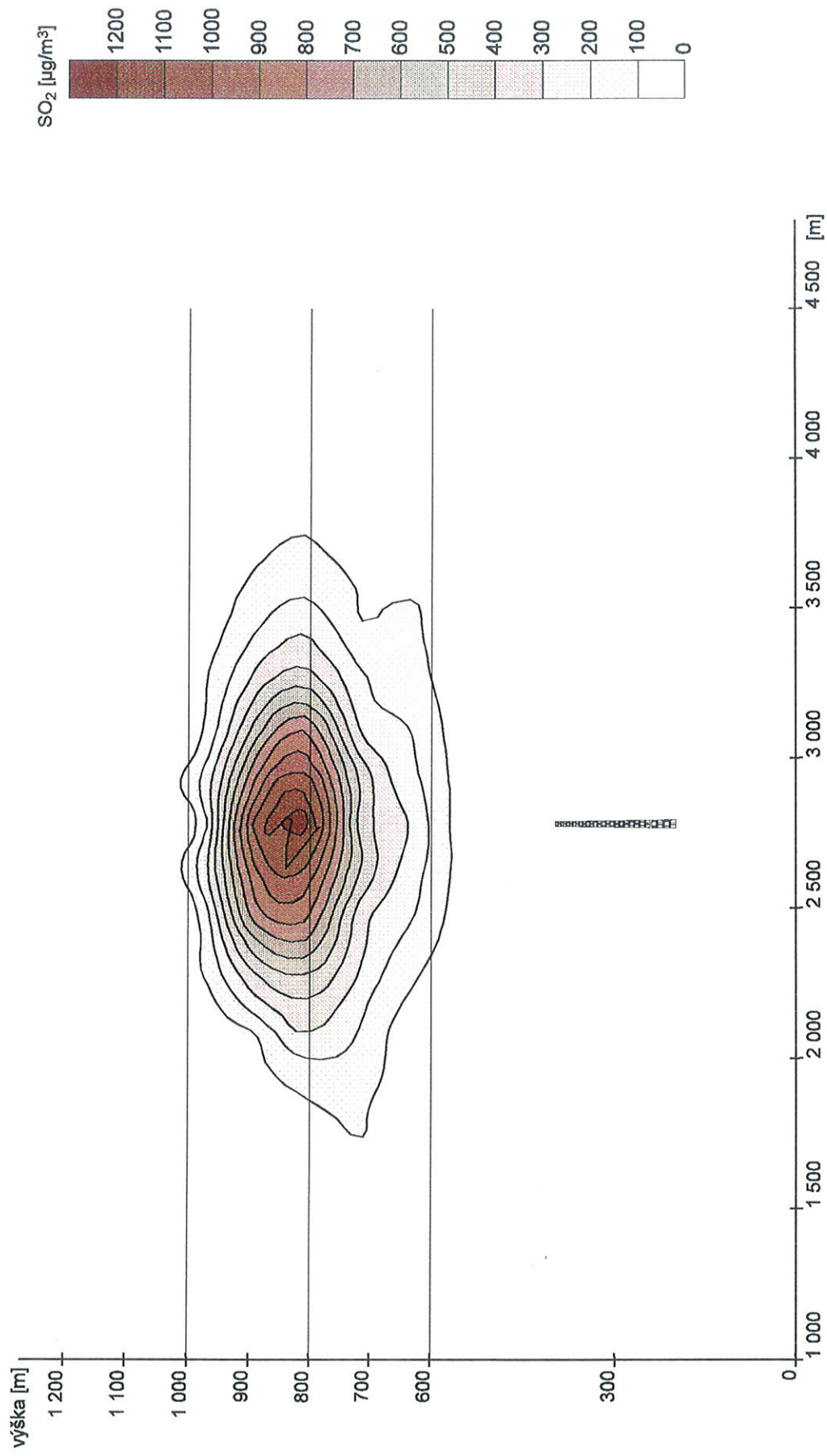
VERTIKÁLNÍ ŘEZ KOLMÝ K OSE KOUŘOVÉ VLEČKY

Datum: 24. 10. 1995

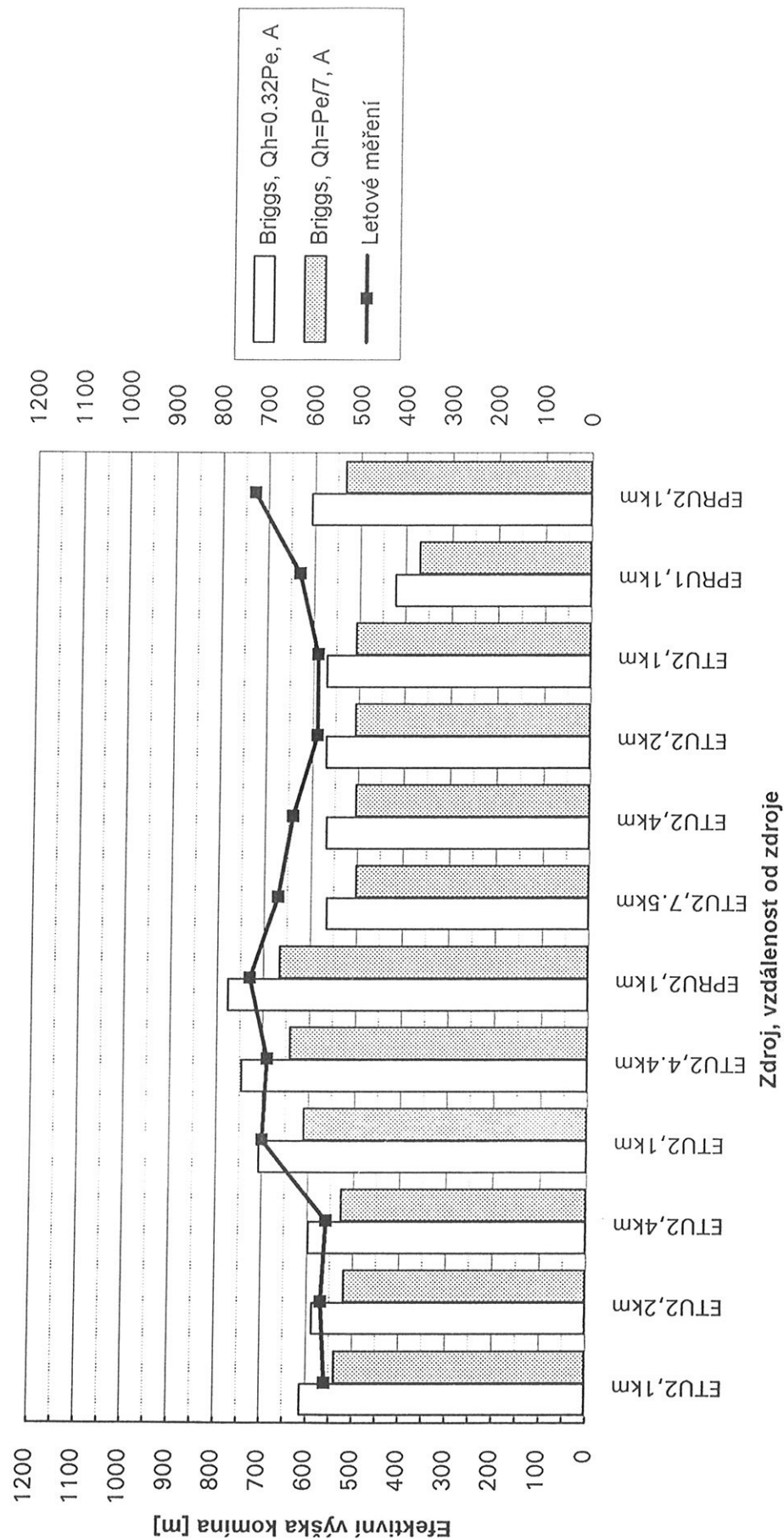
Čas: 15:03 - 15:28 UTC

Měřený objekt: El. Ledvice

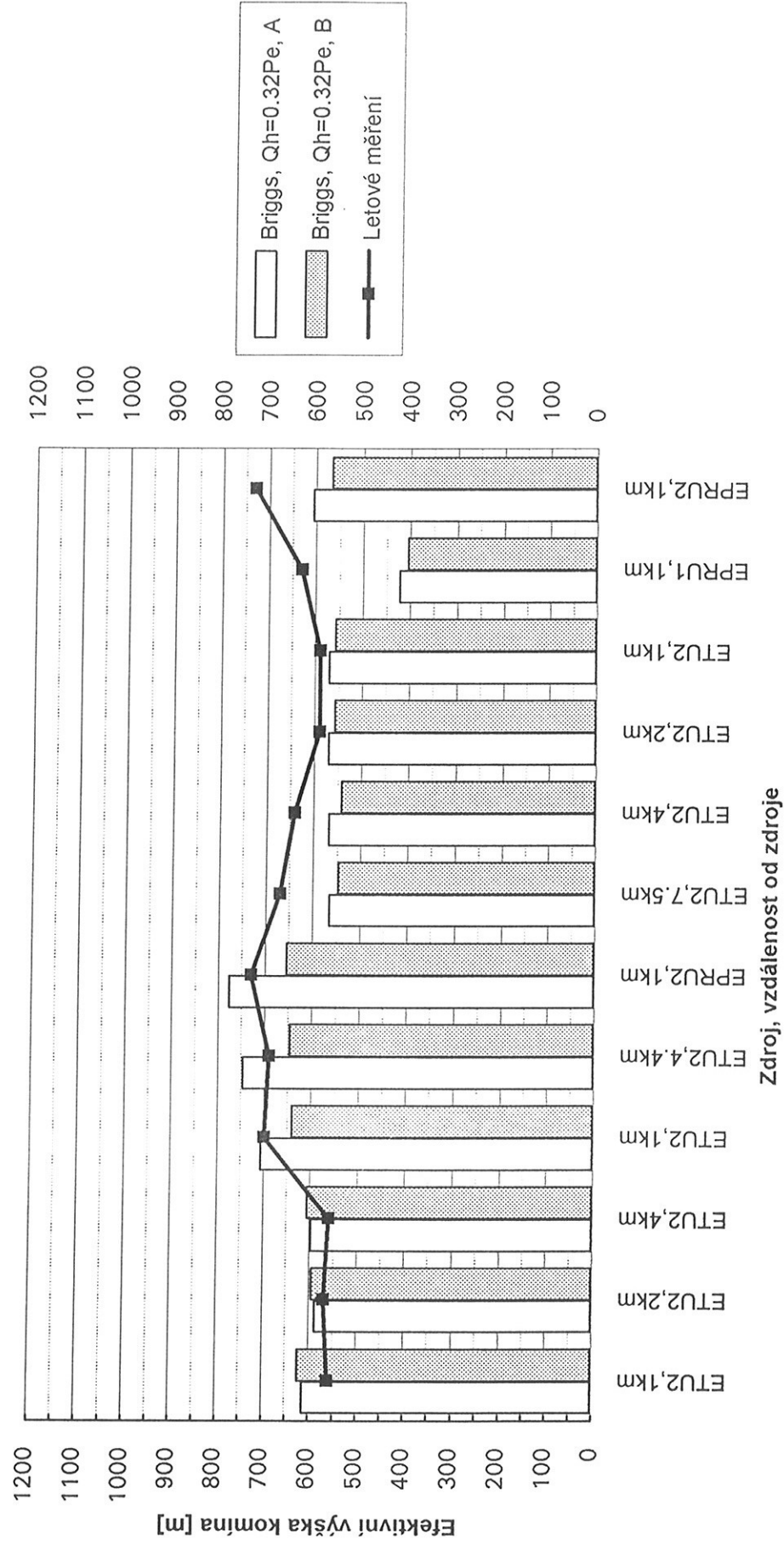
Vzdálenost od komína: 2 km



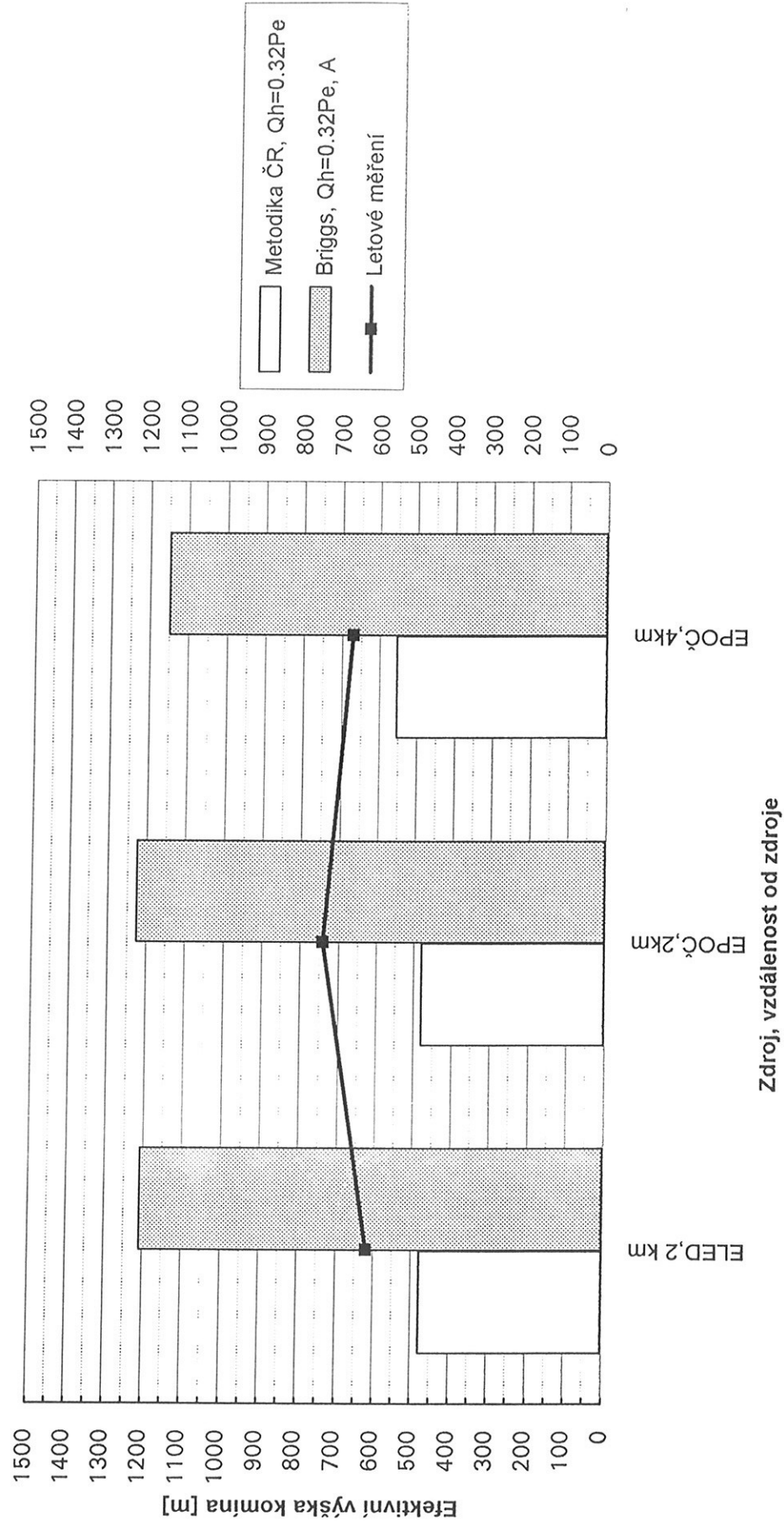
Porovnání efektivních výšek komínů s výsledky letových měření. Efektivní výšky stanoveny podle Briggsových vzorců pro dvě různé metody odhadu tepelné vydatnosti zdroje a pro rychlost větru v úrovni ústí komína (A). Stabilní zvrstvení.



Porovnání efektivních výšek komínů s výsledky letových měření. Efektivní výšky stanoveny podle Briggsových vzorců. Použita rychlost větru v úrovni ústí komína (A) a průměrná rychlost mezi ústím komína a hladinou dostupu vlečky (B). Stabilní zvrstvení.



Porovnání efektivních výšek komínů s výsledky letových měření. Efektivní výšky stanoveny podle nové metodiky ČR a Briggsových vzorců. Použita rychlost větru v úrovni ústí komína (A). Normální zvrstvení.



Porovnání efektivních výšek komínů s výsledky letových měření. Efektivní výšky stanoveny podle nové metodiky ČR a Briggsových vzorců. Použita průměrná rychlost větru mezi úrovní ústí komína a hladinou dostupu vlečky (B). Normální zvrstvení.

