

T A
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou
Technologické agentury ČR
v rámci programu BETA2

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost



STÁTNÍ BÁŇSKÁ SPRÁVA
ČESKÉ REPUBLIKY

VŠB TECHNICKÁ | HORNICKO | KATEDRA
UNIVERZITA | GEOLOGICKÁ | HORNICKÉHO INŽENÝRSTVÍ
OSTRAVA | FAKULTA | A BEZPEČNOSTI

TITACBU033

Stanovení optimální sestavy (varianty) uspořádání separátního větrání dlouhých ražených děl

Vsoubhrn: Souhrn dosažených výsledků a pracovní postup vedoucí ke stanovení optimální sestavy separátních tahů pro ověřování ražeb důlních děl při projektování separátního větrání.

Závěrečná zpráva za 5. kvartál

Výzkumný tým: **doc. Ing. Pavel Zapletal, Ph.D. – hlavní řešitel**
Ing. Pavel Malíček
Bc. Petr Jonas
Bc. Giovanni Caruso Mac-Donald

říjen 2022

T A
Č R

Program veřejných zakázek v aplikovaném výzkumu a inovacích pro potřeby státní správy BETA2 byl schválen usnesením vlády České republiky č. 278 ze dne 30. 3. 2016 a je zaměřen na podporu aplikovaného výzkumu a inovací pro potřeby orgánů státní správy. Poskytovatelem finančních prostředků je Technologická agentura ČR



Obsah

1	Úvod	3
2	Analýza dostupnosti a využívání aerodynamických vlastností prvků separátního větrání	4
3	Porovnání aerodynamického specifického odporu luten odvozeného z reálného měření a z CFD modelu	10
4	Návrh optimálních sestav uspořádání lutnových tahů	15
5	Grafické metody řešení pro stanovení odvětratelné délky lutnového tahu	20
6	Stanovení základních pravidel pro sestavení optimální varianty uspořádání LT pro dané důlní resp. podzemní dílo.	27
6.1	Získání, resp. zadání parametrů díla	27
6.2	Stanovení potřebného objemového průtoku větrů	27
6.2.1	Propočty pro plynující doly:	28
6.2.2	Propočty pro neplynující doly a ČPHZ v podzemí:	30
6.3	Požadavky na konstrukci lutnového tahu	34
6.4	Konstrukce lutnového tahu a jeho specifikace	35
6.4.1	Použití druhu luten pro konstrukci lutnového tahu	35
6.4.2	Použití tvarovek v lutnovém tahu	35
6.4.3	Spolupráce ventilátorů	35
7	Návod ke stanovení optimální sestavy uspořádání LT na základě měření a modelování jednotlivých situací in situ.	38
7.1	Nařízení nebo ustanovení předpisů, tedy legislativní hledisko	38
7.2	Možnosti z hlediska projektu raženého díla, tedy projekční hledisko	40
7.3	Řešení z hlediska nákladů, tedy finanční hledisko	40
8	Hlavní zásady pro uspořádání optimálního lutnového tahu	42
9	Změna legislativy v návaznosti na výpočet potřebného objemového průtoku větrů na ředění Exhalace CO ₂	47
10	Závěr	51
11	Použitá literatura	52

1 Úvod

Neproražené důlní dílo musí být dle vyhlášky ČBÚ č. 22/1989 Sb. § 99 odstavec (1) větráno separátním větráním vždy, když není zajištěno stanovené složení důlního ovzduší nebo když vzdálenost čelby od průchodního větrního proudu dosáhla na plynujícím dole 5 m, na neplynujícím dole 10 m. V případě podzemního stavitelství při nemožnosti dodržení požadavku § 51 odstavce 2 vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb. je nutno použít umělé, resp. separátní větrání.

Separátní větrání je větrání neproraženého důlního díla lutnovým tahem, popřípadě lutnovými tahy s jedním nebo více ventilátory, které může být sací, foukací, kombinované sací nebo kombinované foukací. V následující výzkumné zprávě projektu *TITACBU033 Stanovení optimální sestavy (varianty) uspořádání separátního větrání dlouhých ražených děl* jsou shrnuty základní poznatky, skutečnosti a doporučení, které je nutno akceptovat zejména už i při projektování větrání takovýchto důlních, resp. podzemních děl.

Základními prvky separátního větrání jsou

- lutnový tah
- sestava vzájemně spojených luten osazených lutnovým ventilátorem nebo jiným zdrojem tlaku
- lutna
- potrubí pro rozvod důlních větrů obvykle flexibilní nevyztužená, nebo vyztužená lutna, z vinutého plechu či kovová
- lutnový ventilátor
- hnací jednotka lutnového tahu náležející do skupiny rotačních lopatkových rychloběžných strojů k dopravě vzdušin
- zařízení separátního větrání
- soubor zařízení používaný při separátním větrání, jako jsou ventilátory, zařízení pro vedení, rozvod a regulaci větrů, tvarovky, tlumiče hluku, zásobníky luten, jakož i odprašovací zařízení, popřípadě i chladič důlních větrů

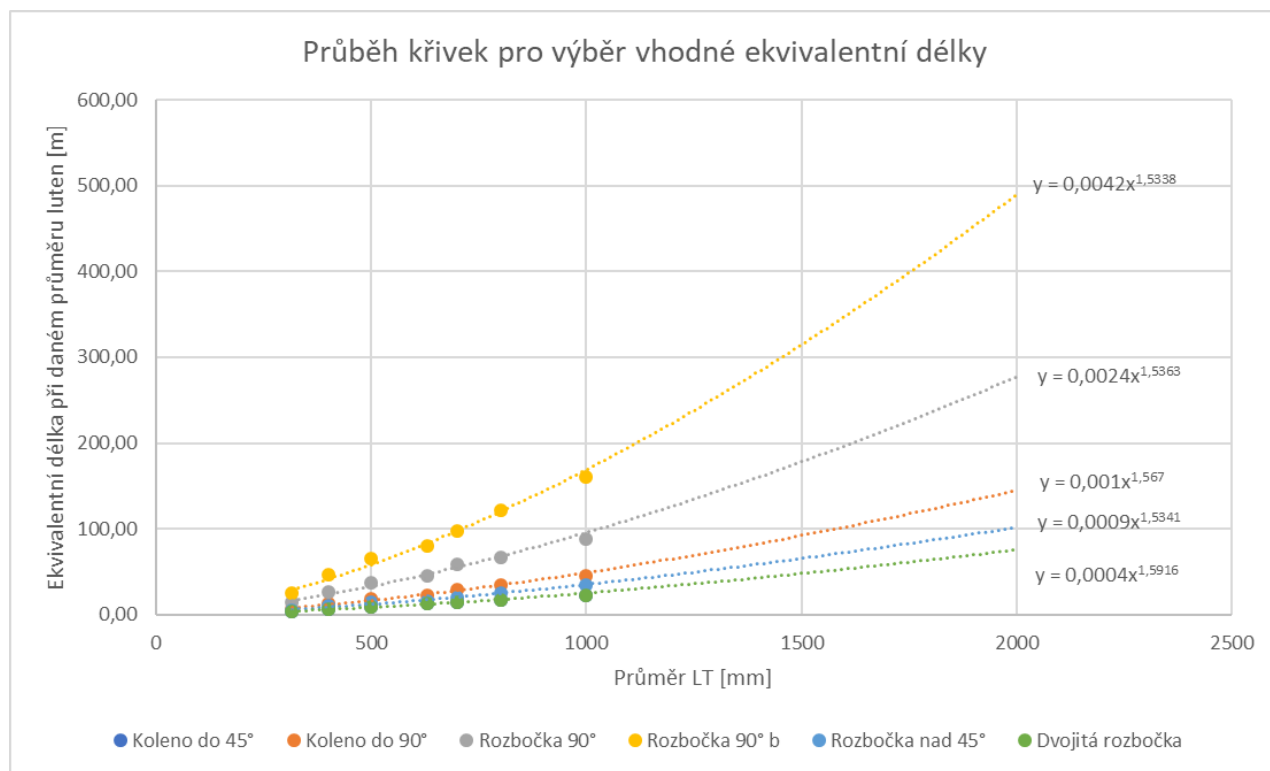
2 Analýza dostupnosti a využívání aerodynamických vlastností prvků separátního větrání

Z dostupných zdrojů byly pro nový SW využity dva základní dokumenty obsahující prvky separátního větrání. Prvním je Typizační směrnice větrání dolů [1], která byla naposledy novelizována v roce 2013 a obsahuje některé použitelné typy tvarovek pro separátní větrání s uvedeným přepočtem ekvivalentní délky v závislosti na průměru použitého potrubí (viz tabulka 1).

Další dokument je kniha Separátní větrání [2], kde je obdobná tabulka pro stanovené ekvivalentní délky.

Problém nedostatku dat k větším průměrům byl vyřešen aproximací stávajících hodnot za použití nejlépe vyhovujících regresních rovnic.

Graf. 1 Průběh křivek pro výběr vhodné ekvivalentní délky



Tabulka 1 Ekvivalentní délky

Označení tvarovky	Ekvivalentní délky L_e [m] při průměru luten d [mm] a hustotě vzdušín $\rho = 1,3$ [kg · m ⁻³]							Schéma tvaru
	315	400	500	630	700	800	1 000	
Koleno do 45°	3,43	6,55	9,17	12,50	14,81	17,53	23,08	
Koleno do 90°	6,95	13,00	18,44	22,98	29,73	34,67	45,55	
Rozbočka 90°	14,11	26,00	36,78	45,75	59,56	67,72	88,78	
Rozbočka 90°	24,89	47,16	66,11	24,89	47,16	122,44	161,44	
Rozbočka nad 45°	5,24	9,78	13,81	5,24	9,78	25,80	34,06	
Dvojitá rozbočka	3,43	6,55	9,17	3,43	6,55	17,53	23,08	
Vstup do lutny	6,05	11,09	18,14	24,19	28,22	33,26	40,31	
Vstup do lutny s difuzorem	2,02	4,03	6,05	8,06	9,07	11,09	13,10	
Výstup z lutny	10,08	19,15	29,22	41,32	47,36	54,42	66,51	
Výstup z lutny s difuzorem	2,02	4,03	6,05	8,06	9,07	11,09	13,10	

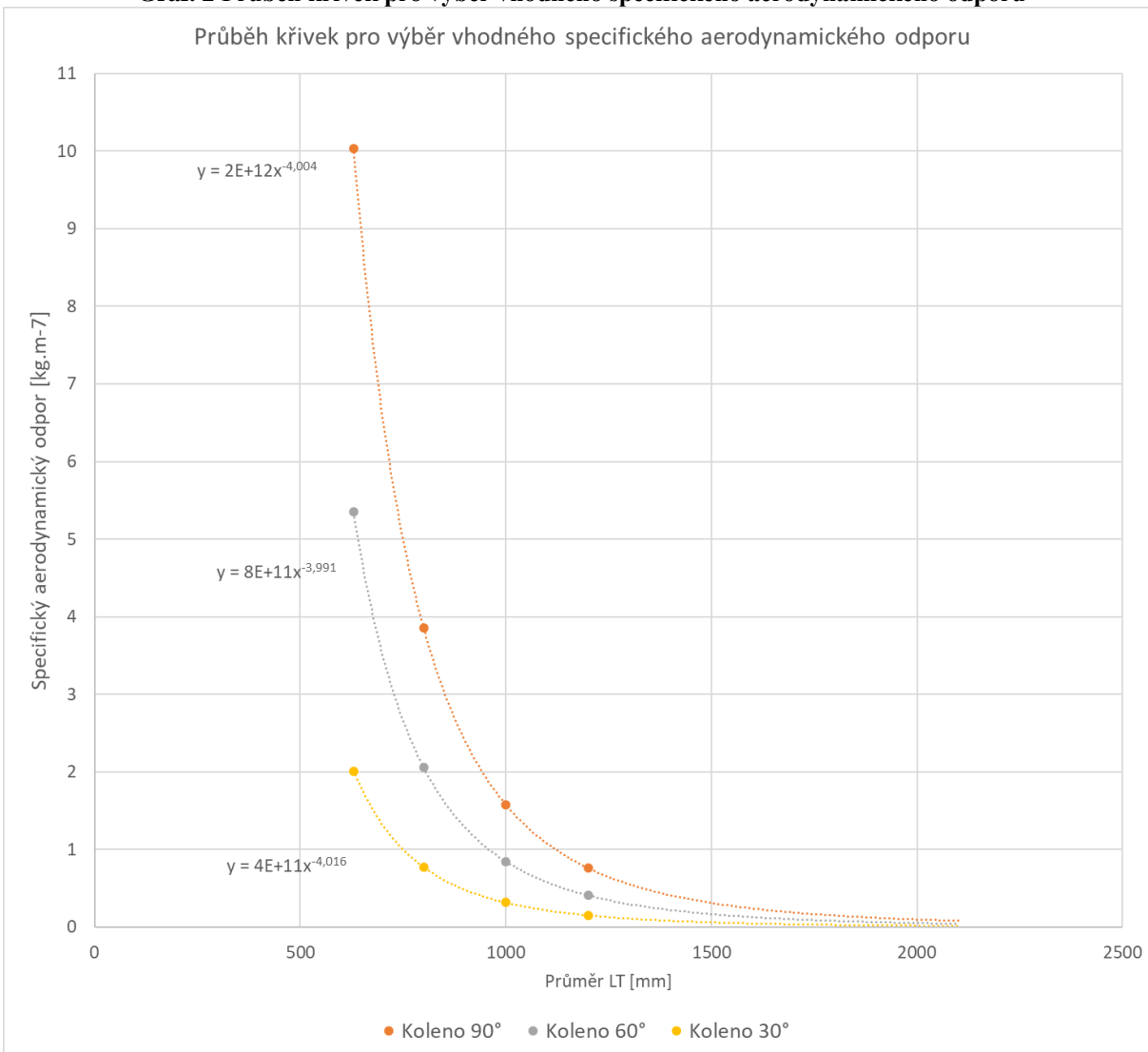
Dalším použitelným dokumentem pro používané tvarovky byl manuál k současnému SW na výpočet separátního větrání, tj. SEP 2.1, kde je uvedena následující tabulka tvarovek, ovšem autory SW již přepočítána na specifický (místní) aerodynamický odpor.

Tabulka 2 Aerodynamické odpory zařízení separátního větrání

Aerodynamické odpory místních prvků [kg.m-7]				
Typ	Průměr 630 mm	Průměr 800 mm	Průměr 1000 mm	Průměr 1200 mm
Clona	13,4	5,15	2,11	1,02
Koleno 90°	10,03	3,86	1,58	0,76
Koleno 60°	5,35	2,06	0,84	0,41
Koleno 30°	2,01	0,77	0,32	0,15
Konfuzor	0,7	0,27	0,11	0,053
Difuzor	1,34	0,51	0,21	0,11
Zasobník	20,1	7,72	3,16	1,52
Wir 700W	1,9	1,2	1	0,8
Coanda 4	45	28	15	10
Coanda 6	23	14	7	5
HBKM	20	3,5	0,9	0

U této tabulky bylo nutno doplnit jednotkový odpor pro průměry od 1200 mm výše. Následující graf představuje aproximaci pro stanovení specifického aerodynamického odporu jednotlivých typů tvarovek.

Graf. 2 Průběh křivek pro výběr vhodného specifického aerodynamického odporu



Tabulka 3 Doplněné jednotkové specifické odpory používaných tvarovek [kg.m⁻⁷]

průměr	630	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Koleno 90°	10,03	3,86	1,58	0,76	0,5057	0,2963	0,1849	0,1213
Koleno 60°	5,35	2,06	0,84	0,41	0,2223	0,1305	0,0815	0,0535
Koleno 30°	2,01	0,77	0,32	0,15	0,0927	0,0542	0,0338	0,0221

V následující tabulce 4 jsou na základě výsledku výzkumu aerodynamických vlastností jednotlivých prvků separátního větrání, s ohledem na výsledky publikované v průběhu řešení projektu, aproximovány ekvivalentní délky jednotlivých tvarovek. Tento postup vycházel se známých dat [2] a byl ověřen numerickým modelováním (viz kapitola níže). Doplnění ekvivalentních délek se týká tvarovek od průměru 1200 až po průměr 2000, které jsou běžně používány v podzemním stavitelství při ČPHZ.

Tabulka 4 Doplněné ekvivalentní délky [m]

Průměr (mm)	Koleno 45°	Koleno 90°	rozbočka 90°	rozbočka 45°	rozbočka Y
315	3,40	6,90	24,70	5,20	3,40
400	6,50	12,90	46,80	9,70	6,50
500	9,10	18,30	65,60	13,70	9,10
630	12,40	22,80	80,00	16,00	12,40
700	14,70	29,50	97,00	20,00	14,70
800	17,40	34,40	121,50	25,60	17,40
1000	22,90	45,20	160,20	33,80	22,90
1200	29,54	59	202,28	42,41	30,18
1400	35,82	72,90	248,46	52,24	37,33
1600	42,33	87,56	296,89	62,58	44,88
1800	49,05	102,92	347,40	73,38	52,80
2000	55,97	118,94	399,81	84,62	61,07

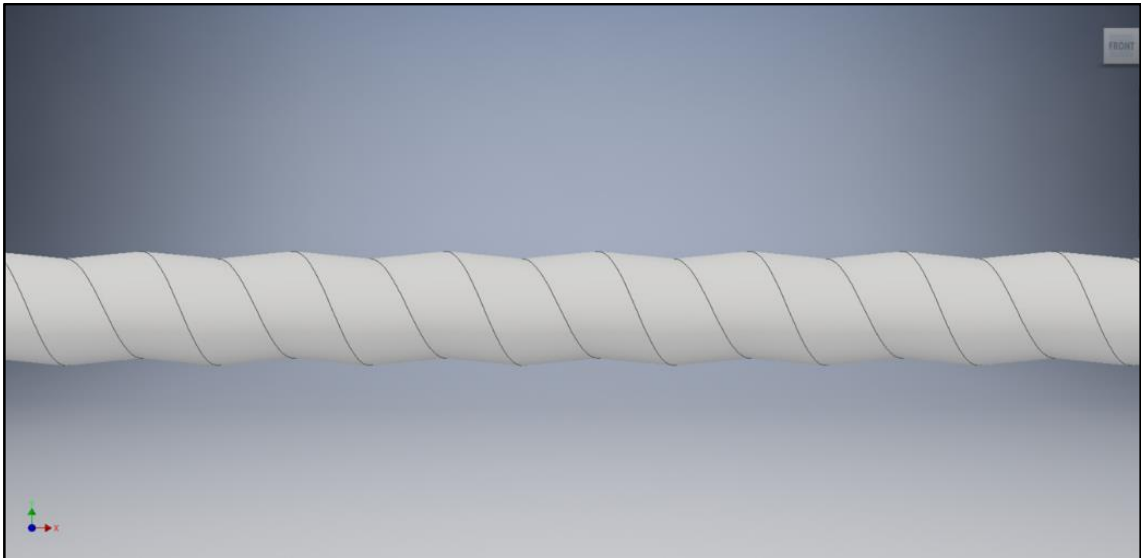
V následující tabulce 5 uvádíme jednotkové specifické aerodynamické odpory používaných typů luten o průměru 1400 – 2000, které jsou běžně používány v podzemním stavitelství při ČPHZ.

Tabulka 5 Doplněné jednotkové odpory používaných typů luten

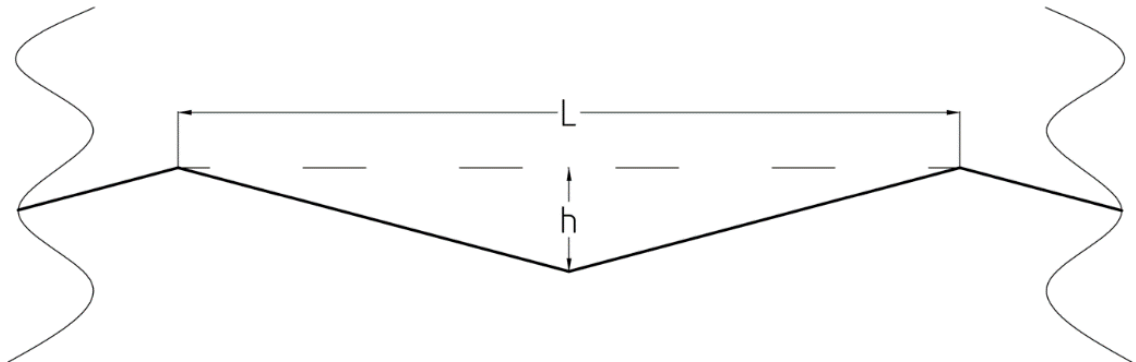
Prům. luten mm	Měrný odpor luten R ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-7}$)							
	kovové lutny			Spiro lutny LUKO			lutny flexibilní	
	nové	zánovní	staré	nové	zánovní	staré	vyztužen	nevyztuž.
315	7,179	9,413	13,903	9,430	13,903	18,450	9,413	5,550
400	2,178	2,643	4,210	2,643	4,213	5,590	2,643	1,750
500	0,712	0,941	1,382	0,941	1,382	1,840	0,941	0,580
630	0,2230	0,2973	0,4247	0,3822	0,4566	0,5734	0,2973	0,1593
800	0,0675	0,0900	0,1286	0,1158	0,1383	0,1737	0,0900	0,0482
1000	0,0221	0,0295	0,0421	0,0379	0,0453	0,0569	0,0295	0,0158
1200	0,0089	0,0119	0,0169	0,0152	0,0182	0,0229	0,0119	0,0064
1400	0,0042	0,006	0,0079	0,0056	0,0079	0,011	0,0056	0,00265
1600	0,0021	0,003	0,004	0,0036	0,0043	0,0055	0,0029	0,0014
1800	0,0012	0,0017	0,0022	0,002	0,0024	0,0031	0,0016	0,0008
2000	0,0007	0,001	0,0013	0,0012	0,0014	0,0018	0,0009	0,0004

3 Porovnání aerodynamického specifického odporu luten odvozeného z reálného měření a z CFD modelu

Za účelem testování aerodynamického specifického odporu byl sestrojen 3D model lutnového tahu v prostředí Autodesk Inventor. Model se skládal ze tří úseků potrubí o průměru 0,3 m a délky 10 m. Stěna trubky byla vyztužena spirálou stejně jako ve skutečnosti. Vzdálenost mezi spirálovými žebry byla označena písmenem L (obr. 1 a 2). Bylo vytvořeno několik verzí modelu s různými výškami žeber h a vzdálenostmi L a zkoumal se vliv geometrie na aerodynamický specifický odpor v úseku 1 m. Jako kontrolní vzorek byl použit také model s dokonale hladkými stěnami.



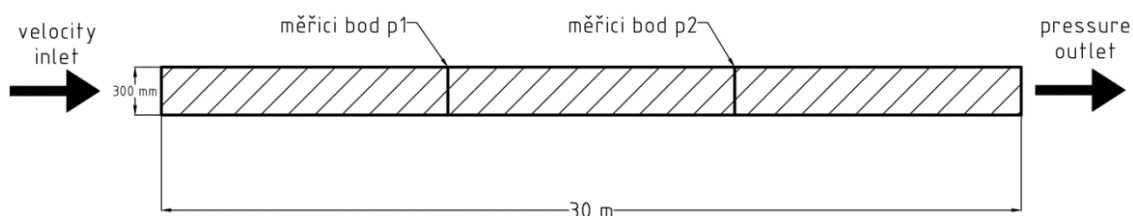
Obr. 1 3D model lutnového tahu



Obr. 2 Geometrie stěny modelu 3D lutnového tahu

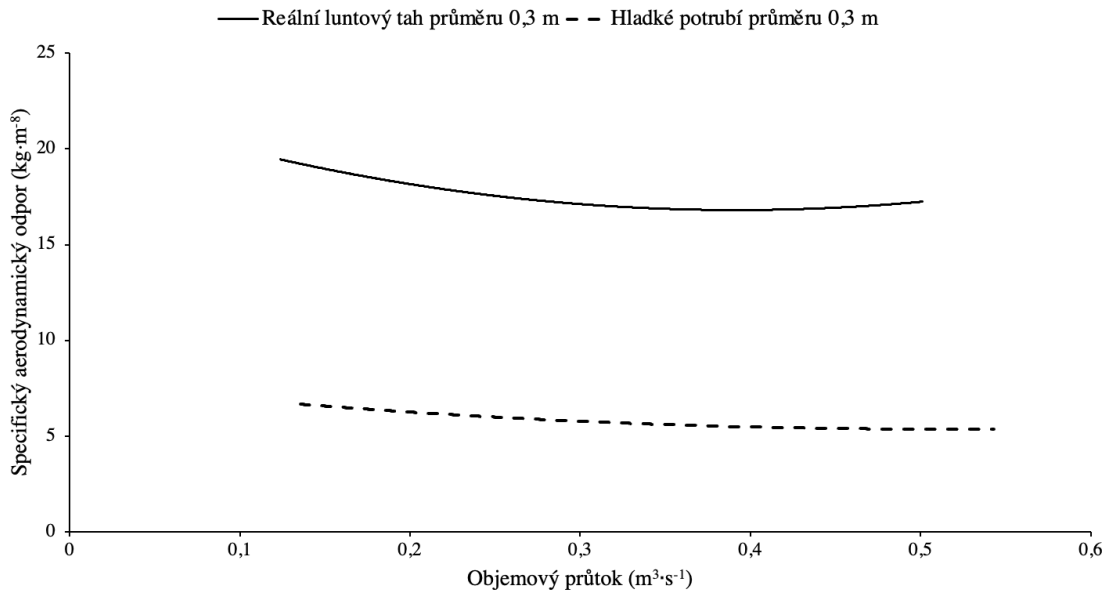
Předem připravený model byl importován do prostředí programu ANSYS Fluent a byla vytvořena polyedrická výpočetní síť. Výpočetní síť se skládala z 1,9 milionu buněk, takže na metr krychlový potrubí připadaly přibližně 3,4 miliony elementů. Tato hodnota byla považována za optimální, protože další zvětšování velikosti sítě nevedlo ke zlepšení přesnosti výpočtů a způsobovalo výrazné prodloužení výpočetního času. Na stěně potrubí byla vytvořena mezní vrstva výpočetní sítě „Inflation layer“, která má za úkol upřesnit výpočty v blízkosti stěny.

Jakmile byla výpočetní síť vytvořena, byla importována do výpočetního prostředí. Okrajové podmínky jsou uvedeny na obrázku níže.



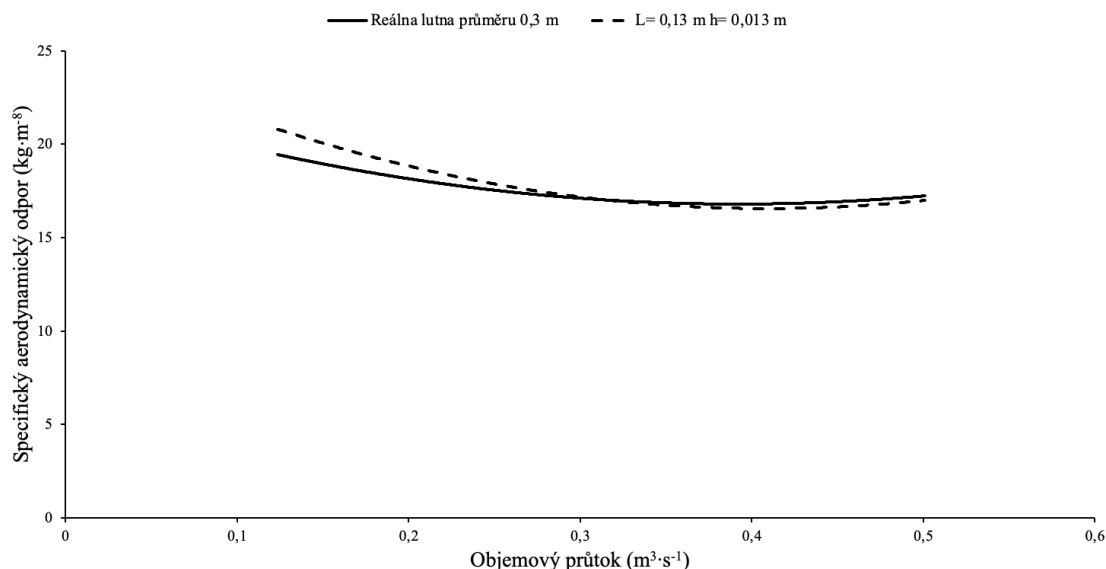
Obr. 3 Okrajová podmínky modelu 0,3 m

Vzduch byl přiváděn z levé strany pomocí okrajové podmínky „Velocity inlet“ která určuje rychlost proudění vzduchu v potrubí. V prvních deseti metrech byl v průřezu potrubí vytvořen správný parabolický rychlostní profil, poté byl změřen statický tlak v bodech $p1$ a $p2$. Statický tlakový rozdíl způsobený aerodynamickým odporem potrubí v kombinaci se známým objemovým průtokem umožnil výpočet specifického aerodynamického odporu v přepočtu na 1 m modelovaného lutnového tahu. Vzduch z modelu uniká plochou na pravé straně s okrajovou podmínkou „Pressure outlet“. Pro každou výšku h byla provedena řada výpočtů od objemového průtoku přibližně $1,5 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ až po maximální průtok $5 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výpočty byly prováděny, dokud nebylo dosaženo residuální hodnoty na úrovni 10^{-5} , což v závislosti na rychlosti proudění vzduchu v potrubí vyžadovalo 300 až 3400 iterací. Statický tlak v bodě $p1$ a $p2$ během výpočtu kolísal, ale rozsah kolísání se s rostoucí přesností zmenšoval, až zcela ustal. Referenčním vzorkem zpočátku byla charakteristika CFD hydraulicky hladké trubky o průměru 0,3 m. Na základě počítačové simulace mechaniky tekutin je její křivka znázorněna takto:



Graf. 3 Srovnání závislosti průtoku na specifickém aerodynamickém odporu lutny průměru 0,3 m a simulace CFD hydraulicky hladkého potrubí stejného průměru

Reálná flexibilní lutka o průměru 0,3 m má mnohem větší aerodynamický odpor, protože její vnitřek je vyztužen ocelovým drátem, který udržuje její tvar konstantní. Dalším krokem při mapování charakteristik v softwarovém prostředí ANSYS Fluent bylo nalezení vhodné geometrie stěny, která by poskytovala aerodynamický odpor s podobnými charakteristikami jako ve skutečnosti. Na základě modelování byla nalezena vhodná geometrie zajišťující správný aerodynamický specifický odpor. Tuto geometrii popisují hodnoty $L = 0,13 \text{ m}$ a $h = 0,013 \text{ m}$.



Graf. 4 Reálný specifický aerodynamický odpor lutny 0,3 m a konečný odpor modelu L= 0,13 m, h=0,013 m v prostředí CFD

V následující tabulce jsou uvedeny číselné výsledky měření a simulací. Maximální relativní chyba činí 7,7 % a maximální absolutní chyba je 1,45 kg·m⁻⁸. Tyto výsledky lze považovat za dobrou aproximaci reality vzhledem k tomu, že v běžných projektech separátního větrání není změna specifického aerodynamického odporu vůbec zohledněna.

Tabulka 6 Konečné výsledky simulace CFD lutny průměru 0,3 m

Reálná lutna průměru 0,3 m		Simulace CFD lutny průměru 0,3 m L=0,13 m, h=0,013 m, SGR=0 m		Absolutní chyba (kg·m ⁻⁸)	Relativní chyba (%)
Objemový průtok (m ³ ·s ⁻¹)	Specifický aerodynamický odpor 1 m úseku (kg·m ⁻⁸)	Objemový průtok (m ³ ·s ⁻¹)	Specifický aerodynamický odpor 1 m úseku (kg·m ⁻⁸)	Specifický aerodynamický odpor 1 m úseku (kg·m ⁻⁸)	-
0,124	19,91	0,123	20,72	0,82	4,1
0,148	18,58	0,148	19,58	1,00	5,4
0,172	18,79	0,173	20,24	1,45	7,7
0,252	16,74	0,254	17,74	1,00	6
0,325	17,07	0,326	17,27	0,20	1,2
0,374	17,36	0,373	16,54	0,82	4,7
0,424	16,97	0,423	16,04	0,93	5,5
0,488	17,53	0,487	16,93	0,60	3,4
0,496	17,04	0,495	16,27	0,77	4,5
0,501	16,78	0,502	17,90	1,12	6,7

Výsledky konkrétního případu ukazují, že modelování v CFD zaručuje cca 92 % jistotu správných hodnot v porovnání s výsledky získanými reálným měřením. Z každé aproximované, nebo matematicky odvozené křivky LT, nebo tvarovky lze získat rovnici, která je využitelná pro stanovení chybějících rozměrů LT a tvarovek. Těchto poznatků bylo využito při tvorbě SW, který byl jedním z výsledků projektu.

4 Návrh optimálních sestav uspořádání lutnových tahů

Možné a reálné = optimální sestavení LT – pro účely programování a znázornění jednotlivých kroků bylo v jednotlivých variantách využito dílčích úseků, kdy v každém jednotlivém úseku musí být umístěn zdroj tlaku (ventilátor/ventilátory) a předem definovaný díl luten. Práce v jednotlivých úsecích je pak popsána u dílčích variant.

Dle platné legislativy existují dvě možnosti umístění zdroje tlaku (ventilátoru).

1. Zdroj tlaku může být umístěn pouze v PVP:

- U hornické činnosti v plynujících dolech vycházíme z vyhlášky ČBÚ č. 165/2002 Sb, o separátním větrání při hornické činnosti v plynujících dolech, kde § 5 Ventilátory, odst. 7 je uvedeno: „*Při foukacím větrání se první ventilátor umístí ve vzdálenosti nejméně 5 m od výdušného větrního proudu z pracoviště, při sacím větrání ve vzdálenosti nejméně 5 m od vyústění separátně odvětrávaného důlního díla do důlního díla s průchodným větrním proudem a 3 m od konce lutnového tahu. Ovládací a spínací zařízení prvního ventilátoru může být umístěno ve vzdálenosti nejméně 5 m od vyústění separátně větraného důlního díla do důlního díla s průchodným proudem, a to proti směru proudění důlních větrů.*“

2. Zdroj tlaku může být umístěn v raženém důlním (resp. podzemním) děle:

- U hornické činnosti v neplynujících dolech vycházíme z vyhlášky ČBÚ č. 22/1989 Sb. o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí, kde v § 138 Ventilátory separátního větrání je uvedeno: “*První ventilátor separátně větraného důlního díla se musí ovládat z průchodního větrního proudu.*“
- U činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí vycházíme z vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb. o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí, kde v § 54 Větrání separátní a stlačeným vzduchem, odst. 5 je uvedeno: „*Ovládání prvního ventilátoru separátně větraného podzemního díla je dovoleno jen z průchodního větrního proudu nebo povrchu.*“

S ohledem na výše uvedené citace legislativy mohou v rámci optimálního sestavení lutnového tahu nastat následující situace, včetně jejich modifikací:

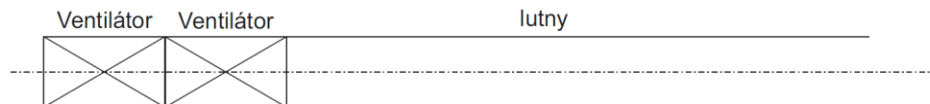
- **Sériové zapojení luten a zdroje tlaku (ventilátoru/ů)**

Zde je možno několik variant sériového zapojení:

- a) Ventilátor je umístěn před portálem raženého díla (resp. před startovací jámou) v rámci ČPHZ, nebo v PVP v rámci HČ a dále jen pokračuje lutnový tah sestavený z jednotlivých luten a použitých tvarovek. Zde je nutno zvážit situaci, že je možno použít více druhů luten (např. ve startovací jámě budou kovové lutny a pod jámou na úrovni raženého díla bude pokračovat lutnový tah z flexibilních nevyztužených luten). *Toto zapojení se vykresluje v rámci jednoho úseku, tzn., vykreslená křivka ventilátoru a odporová křivka celého lutnového tahu včetně tvarovek. Místo, kde se křivky protnou, je provozní bod ventilátoru.*

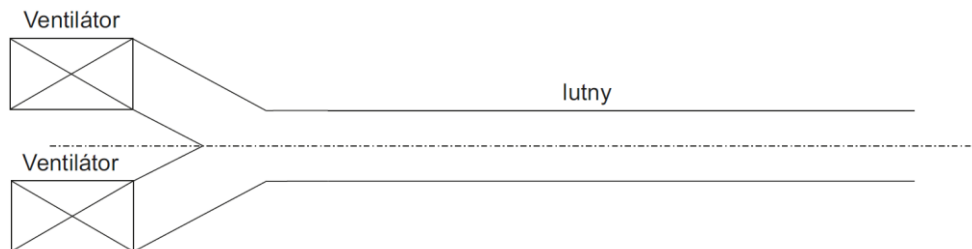


- b) Ventilátor je umístěn před portálem raženého díla (resp. před startovací jámou) v rámci ČPHZ, nebo v PVP v rámci HČ a z důvodu prodloužení odvětratelné délky je nutno navýšit tlak, tzn., umístí se dva stejné ventilátory za sebou. Toto zapojení je vykresleno v rámci jednoho úseku, kdy se v prvním kroku sečtou charakteristiky sériově zapojených ventilátorů a do výsledné křivky se vykreslí křivka celkové délky lutnového .

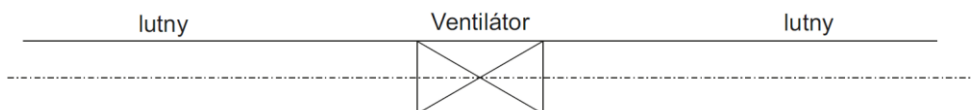


- c) Ventilátor je umístěn před portálem raženého díla (resp. před startovací jámou) v rámci ČPHZ, nebo v PVP v rámci HČ a z důvodu navýšení objemového

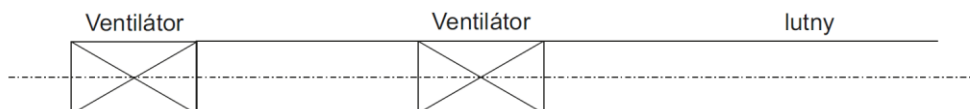
průtoku větrů se umístí dva stejné ventilátory vedle sebe. Zde je nutno počítat s částečným navýšením odporu LT spojovací tvarovkou ve tvaru obráceného „Y“. Toto zapojení je vykresleno v rámci jednoho úseku, kdy se v prvním kroku sečtou charakteristiky paralelně zapojených ventilátorů, a do výsledné křivky se vykreslí křivka celkové délky lutenového tahu.



- d) Ventilátor je umístěn uvnitř lutenového tahu, tzn. na sací i výtlačné straně je umístěn předem definovaný díl lutenového tahu. Znamená to, že ventilátor není v PVP, ale je umístěn uvnitř raženého díla. V tomto případě modelování probíhá ve dvou krocích, kdy v prvním kroku dojde k odečtu odporové křivky LT od charakteristiky ventilátoru, tím dojde k vytvoření redukované charakteristiky LT a do této nově vzniklé křivky se vykreslí zbývající délka LT, která je od ventilátoru k čelbě raženého díla. Tento typ uspořádání LT je možný při HČ na neplynoucích dolech a při ČPHZ v podzemí, ovšem za podmínky, že ovládání prvního ventilátoru je umístěno v PVP, nebo na povrchu (před portálem.)

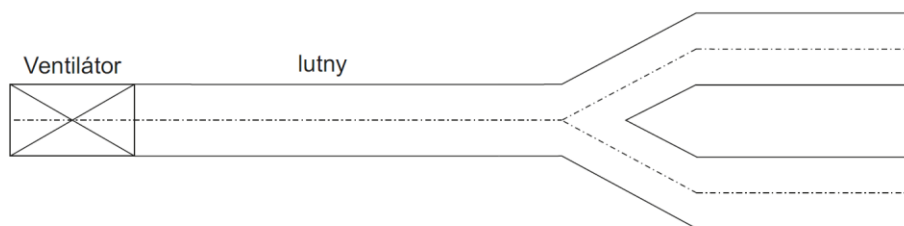


- e) Ventilátory jsou postupně umisťovány do lutenového tahu tzv. do tandemu. Uspořádání LT je tedy sériové, počty úseků závisí od potřeby vkládat další ventilátory do tandemu. Tento systém je využíván na dolech, nebo je možno jej využít při ražbách malých profilů za podmínek použití vyztužených luten.



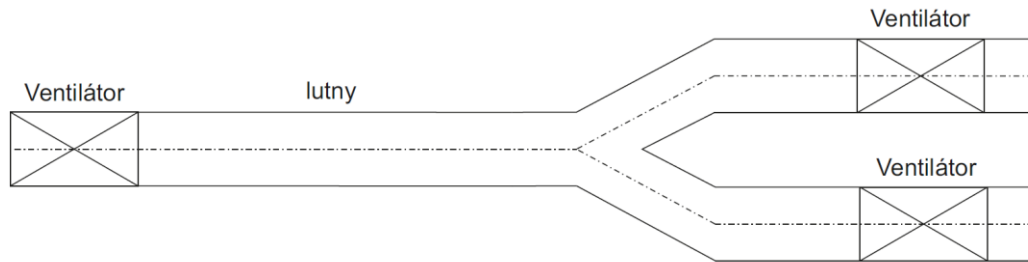
- **Paralelní větvení luten, kdy v rozdvojených větvích se nenachází žádné ventilátory – dva grafy**

- Tento typ uspořádání lutenového tahu je řešen vždy ve dvou krocích. První úsek bude sériové zapojení ventilátoru (zdroje tlaku) a lutenového tahu, kde by teoreticky mohla nastat jedna z variant a) až e) popsaných výše až po rozdělení LT. Druhý úsek, resp. poslední, kdy je nutno v rámci jednoho tlakového zdroje (křivka ventilátoru, nebo redukovaná křivka ventilátoru o odpor LT a rozdělení) prokládat paralelně zapojené dva lutenové tahy. Zde je ale nutno dbát na určitá pravidla, např. zajistit stejný časový postup obou ražených děl z důvodu dodržení požadovaného objemového průtoku větrů. *Při rozdělení LT není možno bez dalších komponentů, se kterými není uvažováno a se kterými se ani praxe neseťká, zajistit rozdílné objemové průtoky.*



- **Paralelní větvení luten, kdy v rozdvojených větvích se nachází ventilátory – dva grafy.**

- V podstatě se jedná o kombinaci varianty 1 a 2, kdy v jednotlivých paralelních větvích bude přidán ventilátor, takže fáze jedna bude stejná jako ve variantě dvě, ve fázi dvě se bude muset kalkulovat s ventilátory v jednotlivých větvích.



O jaký se bude jednat typ, rozhodne projektant.

5 Grafické metody řešení pro stanovení odvětratelné délky lutnového tahu

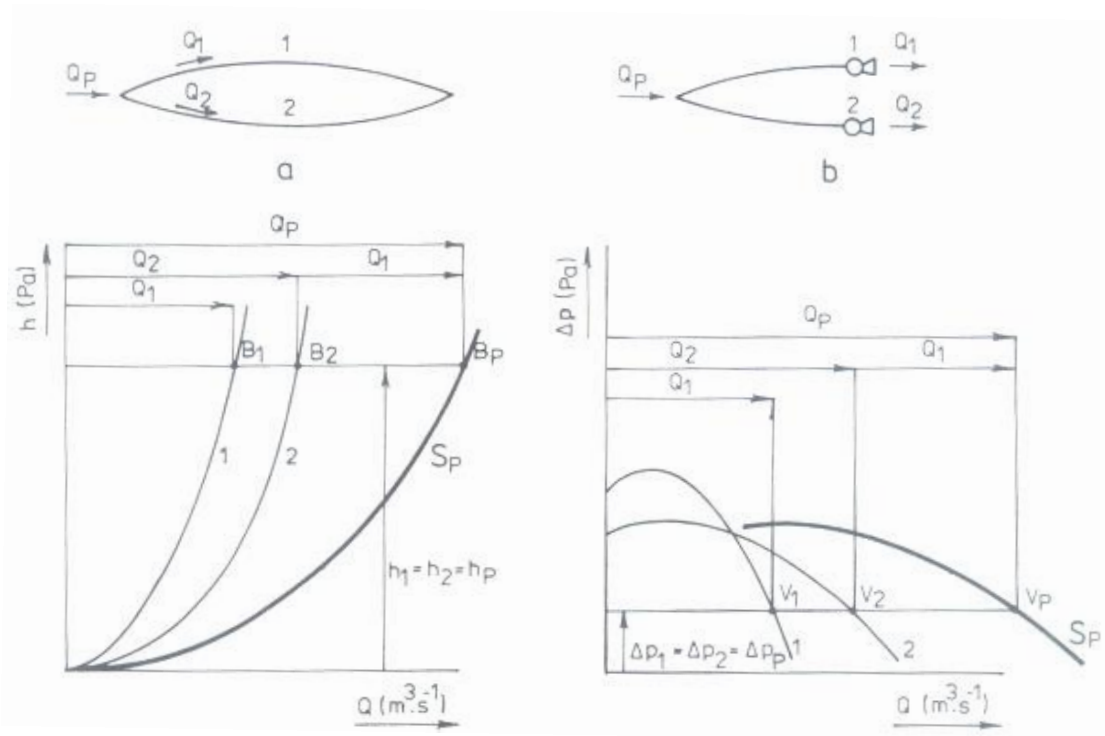
Grafické metody řešení větrných sítí jsou založené na grafickém znázornění vztahu mezi tlakovým spádem a objemovým průtokem větrů, který se nazývá charakteristika. Charakteristiky ventilátorů odporové charakteristiky komponentů separátního větrání můžeme sčítat nebo odečítat na základě platných pravidel pro sériové, paralelní nebo zapojení získané jejich seskupením.

Pro grafické zpracování řešení jednotlivých variant a spolupráci ventilátorů používáme tyto metody:

- součtovou transformaci charakteristik,
- redukovanou transformaci charakteristik,
- aktivizovanou transformaci charakteristik.

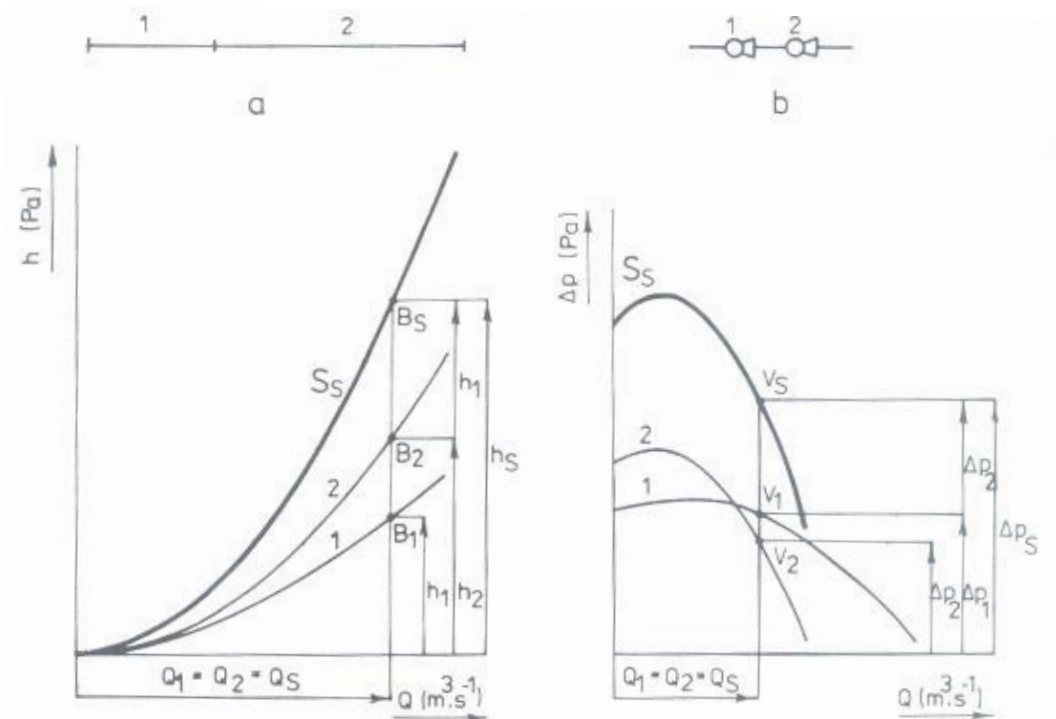
Součtová transformace charakteristik závisí na způsobu zapojení. V praktických řešeních z nich nejčastěji používáme sériovou součtovou charakteristiku k zjištění výsledné charakteristiky ventilátorů umístěných za sebou ve větrném tahu separátního větrání neproražených důlních, resp. podzemních děl.

Při paralelním zapojení lutnových tahů (obr. 4) získáme výslednou součtovou charakteristiku S_p tak, že spočítáme úsečky jednotlivých částečných charakteristik 1 a 2. Potom průsečíky B_1, B_2 (resp. V_1, V_2) úsečky libovolného bodu $B_p, (V_p)$ součtové charakteristiky S_p s částečnými charakteristikami 1, 2 udávají objemové průtoky větrů v jednotlivých lutnových tazích – obr. 4a nebo proudící ventilátory obr. 4b.



Obr. 4 Součtová charakteristika S_p paralelně zapojených a – lutnových tahů 1 a 2, b - ventilátorů 1 a 2

Při sériovém zapojení lutnových tahů nebo ventilátorů (obr. 5) získáme podobně součtovou charakteristiku S_s tak, že spočítáme pořadnice jednotlivých částečných charakteristik 1 a 2. Potom průsečíky B_1, B_2 (V_1, V_2) pořadnice libovolného bodu B_s (V_s) součtové charakteristiky S_s s částečnými charakteristikami 1, 2 udávají tlakové diference odpovídající jednotlivým objektům (lutnovým tahům – obr. 5a nebo ventilátorům – obr. 5b).



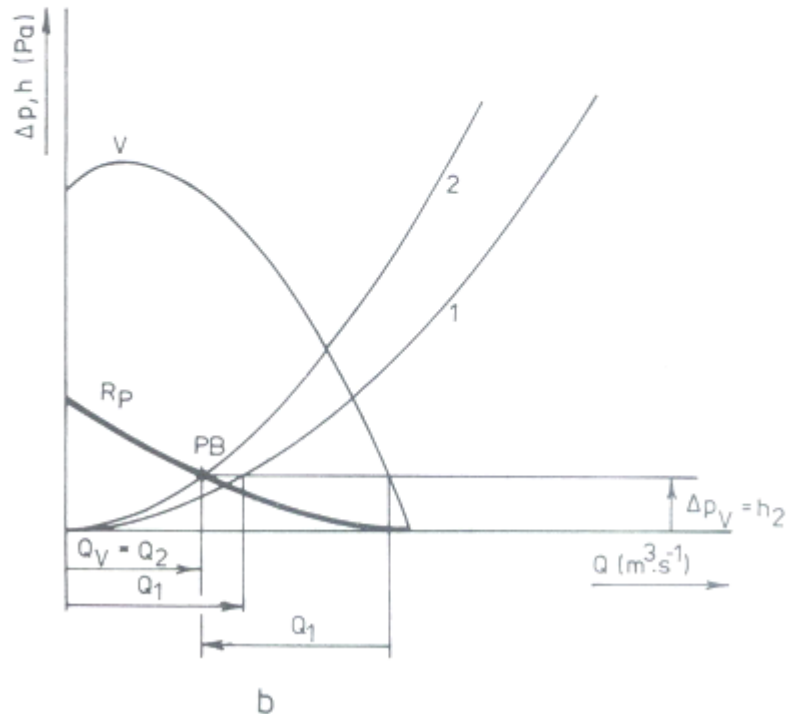
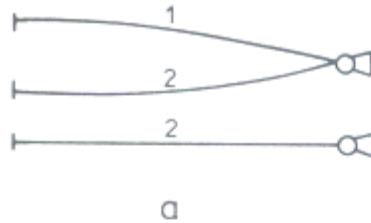
Obr. 5 Součtová charakteristika S_s sériově zapojených a – lutnových tahu 1 a 2, b - ventilátorů 1 a 2

Redukovanou transformaci charakteristik realizujeme odčítáním charakteristiky lutnového tahu od charakteristiky ventilátoru. Používáme ji hlavně při řešení regulace objemových průtoků větrů, ke stanovení změny celkového objemového průtoku větrů následkem změny výsledného aerodynamického odporu regulovaného úseku. Podobně, jako při konstrukci součtových charakteristik, i v těchto případech zachováváme platná pravidla pro paralelní nebo sériové zapojení.

Redukovanou charakteristiku R_p při vyloučení paralelně zařazeného lutnového tahu 1 (obr. 6) dostaneme tak, že od úseček charakteristiky ventilátoru V odčítáme odpovídající úsečky charakteristiky lutnového tahu 1.

Průsečík PB redukované charakteristiky R_p s charakteristikou zůstatkového lutnového tahu 2 je pracovním bodem ventilátoru. Úsečka tohoto bodu udává objemový průtok větrů ventilátorem

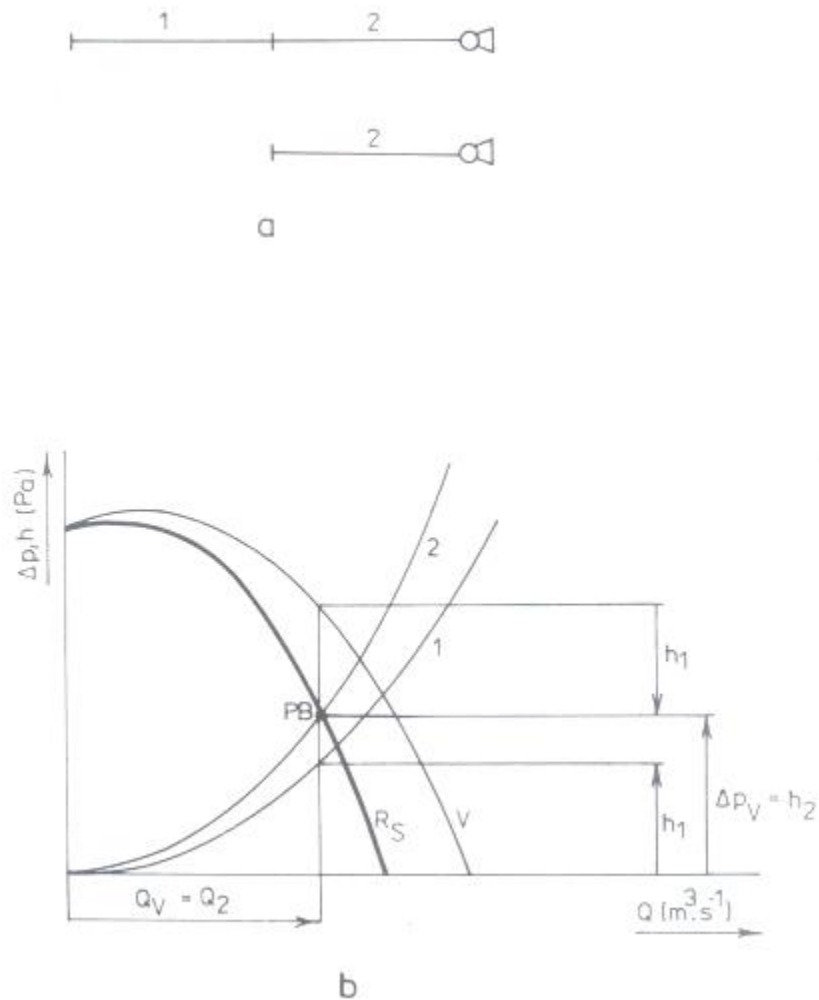
Q_v a luvným tahem 2 $Q_2(Q_v = Q_2)$. Ztráta tlaku h_2 způsobená prouděním větrního proudu luvným tahem 2 a tlaková diference ventilátoru Δp_v se rovnají a odpovídají pořadnici bodu PB.



Obr. 6 Redukovaná charakteristika R_p ventilátoru V po vyloučení paralelně zapojeného luvného tahu 1

Podobně získáme redukovanou charakteristiku R_s při vyloučení sériového zapojení luvného tahu 1 (obr. 7). Potom od pořadnic charakteristiky ventilátoru V odčítáme odpovídající pořadnice charakteristiky luvného 1. Průsečík PB redukované charakteristiky R_s s charakteristikou zbývajících luvných tahu 2 je pracovním bodem ventilátoru. Ztráta tlaku h_2 způsobená prouděním větrního proudu luvným tahem 2 a tlaková diference ventilátoru Δp_v se

rovnají a odpovídají pořadnici bodu PB. Úsečka tohoto bodu udává objemový průtok větrů ventilátorem Q_v a lutnovým tahem 2 $Q_2 (Q_v = Q_2)$.

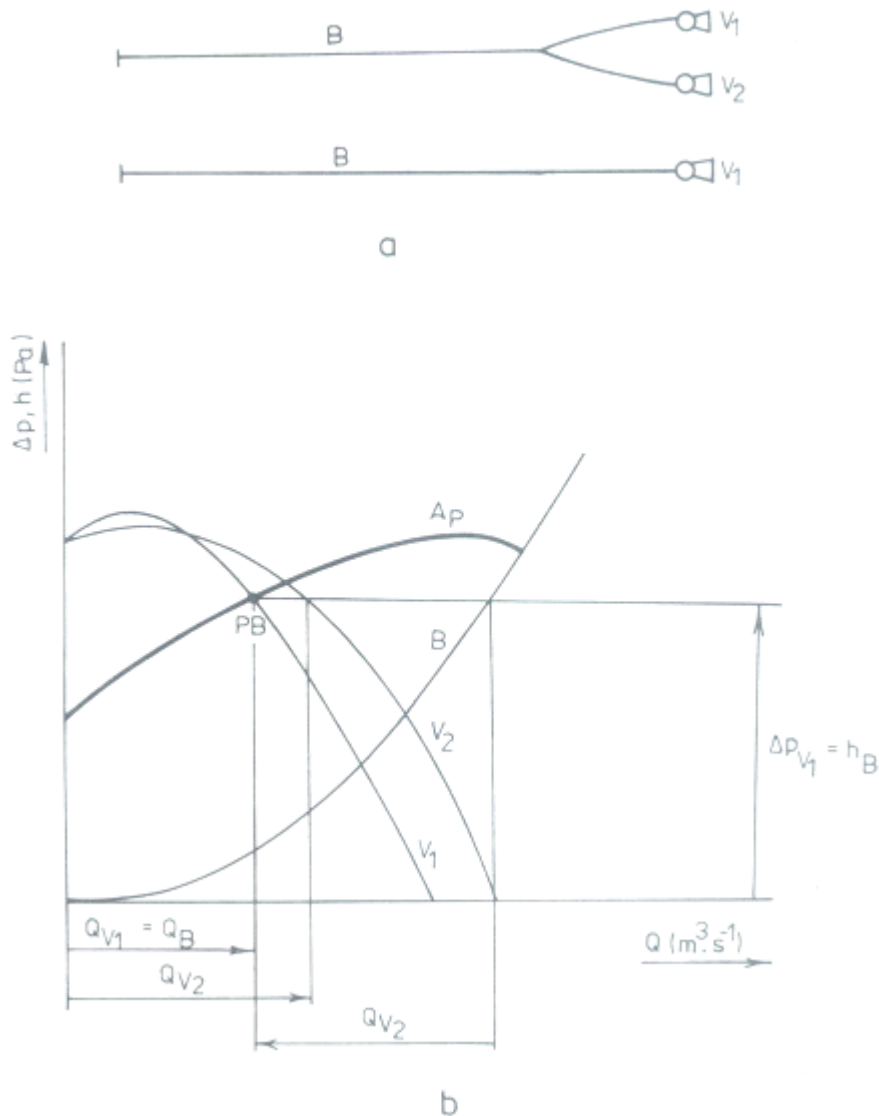


Obr. 7 Redukovaná charakteristika R_s ventilátoru V po vyloučení sériově zapojeného lutnového tahu 1

Aktivizovanou transformaci charakteristik vykonáváme odečítáním charakteristiky ventilátoru od charakteristiky lutnového tahu (oddělení) při zachování pravidel pro paralelní a sériově zapojení.

Při paralelní spolupráci ventilátorů V_1, V_2 získáme aktivizovanou charakteristiku A_p ventilátoru V_1 (při vyloučení práce ventilátoru V_2 - obr. 8) tak, že od jednotlivých úseček charakteristiky lutnového tahu B (případně oddělení) odečítáme odpovídající úsečky

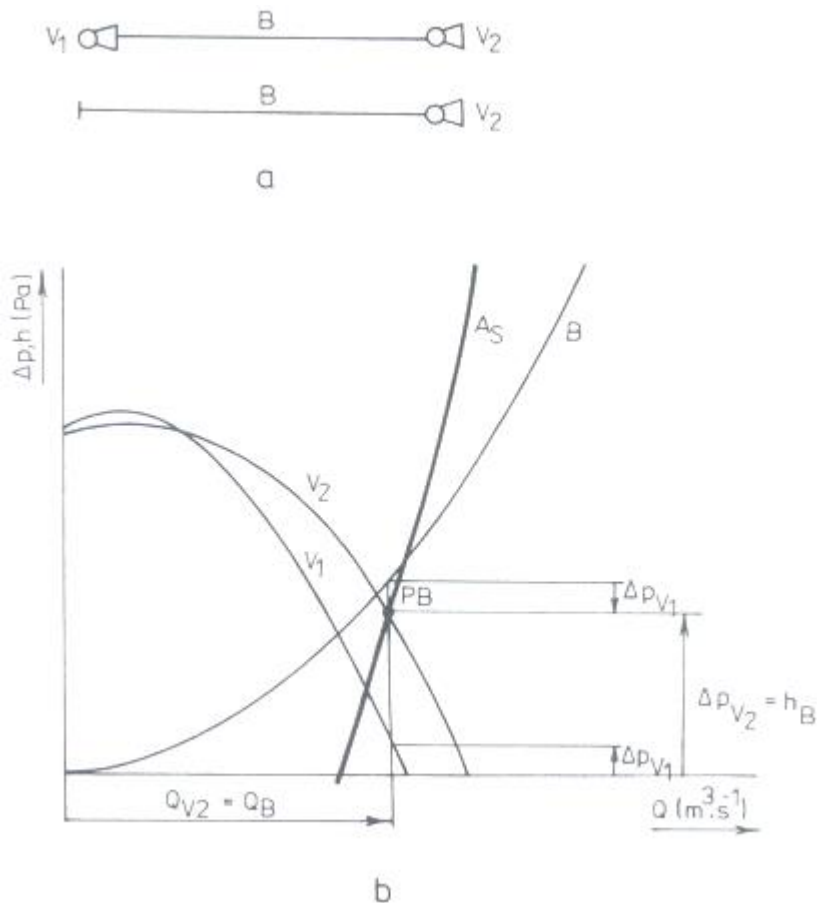
charakteristiky ventilátoru V_2 . Průsečík PB aktivizované charakteristiky A_p s charakteristikou ventilátoru V_1 je jeho pracovním bodem. Úsečka tohoto bodu udává objemový průtok větrů Q_{V_1} ventilátorem V_1 a luvným tahem B Q_B ($Q_{V_1} = Q_B$), pořadnice tlakové difference ventilátoru Δp_{V_1} rovnající se ztrátě tlaku h_B vyvolanou prouděním větrů v luvném tahu B.



Obr. 8 Aktivizovaná charakteristika A_p ventilátoru V_1 (při vyloučení paralelní práce ventilátoru V_2)-

Podobně při sériové spolupráci ventilátoru V_1, V_2 získáme aktivizovanou charakteristiku A_s ventilátoru V_2 (při vyloučení práce ventilátoru V_1 - obr. 9) tak, že od jednotlivých pořadnic

charakteristiky lůnového tahu B (případně oddělení) odečítáme odpovídající pořadnice charakteristiky ventilátoru V_1 . Průsečík PB aktivizované charakteristiky A_s s charakteristikou ventilátoru V_2 je jeho pracovním bodem. Pořadnice tohoto bodu udává tlakovou diferenci ventilátoru Δp_{V_2} rovnající se tlakové ztrátě h_B vyvolanou prouděním větrů v lůnovém tahu B a úsečka objemových průtoků větrů Q_{V_2} ventilátorem V_2 i lůnovým tahem B ($Q_{V_2} = Q_B$).



Obr. 9 Aktivizovaná charakteristika A_s ventilátoru V_2 (při vyloučení sériové práce ventilátoru V_1)

6 Stanovení základních pravidel pro sestavení optimální varianty uspořádání LT pro dané důlní. resp. podzemní dílo.

6.1 Získání, resp. zadání parametrů díla

Musí být zadány parametry díla, pro které má být zpracován projekt větrání.

Parametry ražeb	Hodnota	Jednotka
Délka ražby		m
Plocha výrubu		m ²
Předpokládaný denní postup		m
Parametry technologie	Hodnota	Jednotka
Maximální počet pracovníků		ks
Stroje s naftovým motorem		
Počet strojů		ks
Typ strojů		
➤		kW
➤		kW
➤		kW
Maximální instalovaný výkon naftových motorů použitých v nejhůrší variantě.		kW
Kombinace strojů v nejhůrší variantě		
Požadavky při použití trhacích prací		
Použitý druh trhaviny		
Maximální hmotnost trhaviny na jeden odpal		kg
Celkový objem jedovatých zplodin ze zvolené trhaviny vyjádřené hodnotou konvenčního CO		m ³ kg ⁻¹
Měrná hmotnost horniny		kgdm ⁻³
Délka zabírky		m

6.2 Stanovení potřebného objemového průtoku větrů

Pokud není předem stanovený potřebný objemový průtok (např. Ejpovice byly raženy štítem, který měl samostatný lutnový tah pro jeho odvětrání a projekt měl řešit výkon hlavního lutnového tahu o 30% nad tento výkon), musí se provést propočít, který vychází z jednotlivých, výše popsaných parametrů:

Provedením propočtu získáme potřebný objemový průtok, pro který je potřeba navrhnout optimální lutnový tah, který zajistí dodržení stanovených podmínek větrání a mikroklimatických podmínek na ražené čelbě (MKP).

6.2.1 Propočty pro plynující doly:

Q_{v1} - Exhalace CH₄

$$Q_{v_1} = \frac{q_1}{c - c_1} \cdot 100$$

Kde je

- Q_{v1} Potřebný objemový průtok větrů (m³s⁻¹)
- q₁ Předpokládaná exhalace CH₄ v projektovaném důlním díle (m³s⁻¹)
- c Přípustná koncentrace CH₄ v projektovaném důlním díle (%)
- c₁ Koncentrace CH₄ v průchodním větrním proudu (dále jen "PVP") před zaústěním lůnového tahu do projektovaného důlního díla (%)

Q_{v2} - Exhalace CO₂

$$Q_{v_2} = \frac{q_2 + q_3}{c_2 - c_3} \cdot 100$$

Kde je

- Q_{v2} Potřebný objemový průtok větrů (m³s⁻¹)
- q₂ Předpokládaná exhalace CO₂ v projektovaném důlním díle (m³s⁻¹)
- q₃ Celková exhalace oxidu uhličitého z pracovníků a ze strojů s naftovým motorem (m³s⁻¹)
- c₂ Přípustná koncentrace CO₂ v projektovaném důlním díle (%)
- c₃ Koncentrace CO₂ v průchodním větrním proudu (dále jen "PVP") před zaústěním lůnového tahu do projektovaného důlního díla (%)

$$q_3 = \frac{0,09 \cdot n_1 + 33 \cdot n_2}{3600}$$

Kde je

- n₁ předpokládaný počet pracovníků
- n₂ předpokládaný počet současně provozovaných strojů s naftovým motorem

Q_{v3F} - TP – foukací

$$Q_{v_{3F}} = \frac{0,349}{\tau} \sqrt[3]{A \cdot b \cdot S^2 \cdot L_{kr}^2}$$

Kde je

Q_{v3F}	Potřebný objemový průtok větrů	$(\text{m}^3\text{s}^{-1})$
A	Hmotnost odpálené trhaviny	(kg)
b	Celkový objem jedovatých zplodin ze zvolené trhaviny vyjádřené hodnotou konvenčního CO	$(\text{m}^3 \text{kg}^{-1})$
S	Světlý průřez raženého větraného díla	(m^2)
τ	Doba potřebná k odvětrání zplodin po trhací práci	(min)
L_{kr}	Délka větraného díla <u>k úkrytu osádky</u>	(m)

Q_{v3S} - TP – sací

$$Q_{v3S} = \frac{9,417 \cdot A}{\tau} \sqrt{\frac{1000 \cdot b \cdot \sqrt{S}}{\rho_h \cdot L_z}}$$

Kde je

Q_{v3S}	Potřebný objemový průtok větrů	$(\text{m}^3\text{s}^{-1})$
A	Hmotnost odpálené trhaviny	(kg)
b	Celkový objem jedovatých zplodin ze zvolené trhaviny vyjádřené hodnotou konvenčního CO	$(\text{m}^3 \text{kg}^{-1})$
S	Světlý průřez raženého větraného díla	(m^2)
τ	Doba potřebná k odvětrání zplodin po trhací práci	(min)
ρ_h	Měrná hmotnost horniny	(kg m^{-3})
L_z	Délka zabírky	(m)

Q_{v4} - Kriterium nejnižší povolené rychlosti

$Q_{v4} = 0,5 \cdot S_{MAX}$	pro $c > 0,5 \%$	$[\text{m}3.\text{s}-1]$ (ražení)
$Q_{v4} = 0,3 \cdot S_{MAX}$	pro $c \leq 0,5 \%$	$[\text{m}3.\text{s}-1]$ (ražení)
$Q_{v4} = 0,15 \cdot S_{MAX}$	pro $c \leq 0,5 \%$	$[\text{m}3.\text{s}-1]$ (hloubení)

Q_{v5} - Ředění zplodin vznětových motorů

$$Q_{v5} = \sum_{i=1}^{n_2} P_{Ni} \cdot F_{Ai} \cdot Q_{ji}$$

Kde je

Q_{v5}	Potřebný objemový průtok větrů	$(\text{m}^3\text{s}^{-1})$
P_N	Instalovaný výkon motoru	(kW)
F_A	Faktor průměrného vytížení (0,3 – 0,6)	



- Q_j Jednotkový obj. průtok větrů potřebný k ředění zplodin z 1 kW (m³s⁻¹kW⁻¹)
výkonu stroje (0,03 – 0,1)

Q_{v6} - Exhalace Rn

$$Q_{v_6} = \frac{p \cdot D_{Rn}}{1000 \cdot (c_{Rn} - c_{vt})}$$

Kde je

- Q_{v6} Potřebný objemový průtok větrů (m³s⁻¹)
p Koeficient porušení radioaktivní rovnováhy (0,2 - 0,5)
D_{Rn} Předpokládanou exhalaci radonu (dále jen “ Rn“) v (Bqs⁻¹)
projektovaném důlním díle
c_{Rn} Přípustnou koncentraci Rn v projektovaném důlním díle (Bqm⁻³)
c_{vt} Koncentraci Rn v PVP před zaústěním luvného tahu do (Bqm⁻³)
projektovaného důlního díla

6.2.2 Propočty pro neplynující doly a ČPHZ v podzemí:

I. Exhalace CO₂

$$Q_{v_2} = \frac{q_2 + q_3}{c_2 - c_3} \cdot 100$$

Kde je

- Q_{v2} Potřebný objemový průtok větrů (m³s⁻¹)
q₂ Předpokládaná exhalace CO₂ v projektovaném důlním díle (m³s⁻¹)
q₃ Celková exhalace oxidu uhličitého ze strojů a z lidí (m³s⁻¹)
c₂ Přípustná koncentrace CO₂ v projektovaném důlním díle (%)
c₃ Koncentrace CO₂ v průchodním větrném proudu (dále jen (%)
"PVP") před zaústěním luvného tahu do projektovaného
důlního díla

$$q_3 = \frac{0,09n_1 + 33n_2}{3600}$$

Kde je

- n₁ předpokládaný počet pracovníků
n₂ předpokládaný počet současně provozovaných strojů s
naftovým motorem

II. TP – Sací

$$Q_{v_{3S}} = \frac{9,417 \cdot A}{\tau} \sqrt{\frac{1000 \cdot b \cdot \sqrt{S}}{\rho_h \cdot L_z}}$$

Kde je

$Q_{v_{3S}}$	Potřebný objemový průtok větrů	(m^3s^{-1})
A	Hmotnost odpálené trhaviny	(kg)
b	Celkový objem jedovatých zplodin ze zvolené trhaviny vyjádřené hodnotou konvenčního CO	($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)
S	Světlý průřez raženého větraného díla	(m^2)
τ	Doba potřebná k odvětrání zplodin po trhací práci	(min)
ρ_h	Měrná hmotnost horniny	(kg m^{-3})
L_z	Délka zabírky	(m)

III. TP – foukací

$$Q_{v_{3F}} = \frac{0,349}{\tau} \sqrt[3]{A \cdot b \cdot S^2 \cdot L^2}$$

Kde je

$Q_{v_{3F}}$	Potřebný objemový průtok větrů	(m^3s^{-1})
A	Hmotnost odpálené trhaviny	(kg)
b	Celkový objem jedovatých zplodin ze zvolené trhaviny vyjádřené hodnotou konvenčního CO	($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)
S	Světlý průřez raženého větraného díla	(m^2)
τ	Doba potřebná k odvětrání zplodin po trhací práci	(min)
L	Délka větraného díla <u>k úkrytu osádky</u>	(m)

IV. Vývin prachu

$$Q_v = \frac{4 \cdot d \cdot S \cdot g}{NPK}$$

Kde je

Q_v	Potřebný objemový průtok větrů	(m^3s^{-1})
d	Vzdálenost luten od čelby	(m)
g	Předpokládaný vývin prachu	(mgm^{-3})
S	Světlý průřez díla	(m^2)
NPK	Nejvyšší přípustná koncentrace prachu	(mgm^{-3})

V. Ředění zplodin vznětových motorů

$$Q_{v5} = \sum_{i=1}^{n_2} P_{N_i} \cdot F_{A_i} \cdot Q_{j_i}$$

Kde je

- Q_{v5} Potřebný objemový průtok větrů (m^3s^{-1})
 P_N Instalovaný výkon motoru (kW)
 F_A Faktor průměrného vytížení (0,3 – 0,6)
 Q_j Jednotkový obj. průtok větrů potřebný k ředění zplodin z 1 kW výkonu stroje (0,03 – 0,1) ($\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{kW}^{-1}$)

Tabulka 1 - F_A - Pro silniční dopravu a dopravu kolejovými stroji

Sklon dopravní trati do (°)	3	5	7	10
F_A	0,3	0,4	0,5	0,6

Tabulka 2 - F_A - Pro dopravu na závěsné dráze

Sklon dopravní trati do (°)	5	10	15	20	25	30
F_A	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6

Pozn: Pro volně stojící stroje platí hodnota $F_A = 0,3$.

Stanovení jednotkového obj. průtok větrů potřebného k ředění zplodin z 1 kW výkonu uvažovaného stroje

- Při použití (nasazení) vhodných, dobře udržovaných dieselových motorů bez zvláštních konečných úprav (dodatečných zpracování) výfukových plynů, bez důkazu (detekce) dodržení (nastavené hodnoty) emisních hodnot:
 - 6 m^3 čerstvého vzduchu za min. DIN (= německé průmysl. normy) – kW jmenovitý výkon nasazeného stroje **pro těžbu a nakládání**
 - 0,1 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\cdot\text{kW}^{-1}$ při využití plného výkonu stroje
 - 0,08 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\cdot\text{kW}^{-1}$ při maximálně 80% výkonu stroje
 - 3 m^3 čerstvého vzduchu za min. DIN (= německé průmysl. normy) – kW jmenovitý výkon nasazeného stroje **pro dopravu materiálu, odvoz rubaniny a stroje provádějící obsluhu čelby (vrtání, betonování, odtrhávání)**
 - 0,05 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\cdot\text{kW}^{-1}$ při využití plného výkonu stroje
 - 0,04 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\cdot\text{kW}^{-1}$ při maximálně 80% výkonu stroje

- Při použití motorů s filtrem částic, s pravidelnou detekcí dodržení emisních hodnot přes provozovatele:
 - 4 m³ čerstvého vzduchu za min. DIN (= německé průmysl. normy) – kW jmenovitý výkon nasazeného stroje **pro těžbu a nakládání**
 - 0,066 m³s⁻¹.kW⁻¹ při využití plného výkonu stroje
 - 0,053 m³s⁻¹.kW⁻¹ při maximálně 80% výkonu stroje
 - 2 m³ čerstvého vzduchu za min. DIN (= německé průmysl. normy) – kW jmenovitý výkon nasazeného stroje **pro dopravu materiálu, pro odvoz rubaniny a stroje provádějící obsluhu čelby (vrtání, betonování, odtrhávání)**
 - 0,033 m³s⁻¹.kW⁻¹ při využití plného výkonu stroje
 - 0,03 m³s⁻¹.kW⁻¹ při maximálně 80% výkonu stroje

VI. Největší počet pracovníků

Podle NV 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007 v platném znění, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, je potřebný objemový průtok pro odvětrání pracoviště s ohledem na maximální počet pracovníků na pracovišti stanoven vztahem:

$$Q_v = K \cdot n_1$$

Kde je

Q _v	Potřebný objemový průtok větrů	(m ³ s ⁻¹)
K	Minimální množství vzduchu přiváděného na pracoviště musí být: 25 m ³ h ⁻¹ práce v sedě s lehkou manuální prací bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění 50 m ³ h ⁻¹ práce v sedě s lehkou manuální prací s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění 70 m ³ h ⁻¹ na osobu pro práci převážně vstoje a v chůzi 90 m ³ h ⁻¹ na osobu při těžké fyzické práci	
n ₁	Největší počet pracovníků v nejsilněji obsazené směně	(ks)

Minimální množství venkovního vzduchu musí být zvýšeno při další zátěži větraného prostoru pracoviště, například teplem nebo pachy. V takovém případě se zvyšuje množství přiváděného venkovního vzduchu o 10 m³h⁻¹ podle počtu přítomných zaměstnanců.

6.3 Požadavky na konstrukci lutnového tahu

Podle požadovaného objemového průtoku je potřeba zohlednit požadavky na konstrukci lutnového tahu. U HČ nutno znát i objemový průtok v PVP.

Požadavky na konstrukci lutnového tahu musí vycházet z projektu pro ražené podzemní dílo. A to především na profil díla a použitou technologii ražby:

- Průjezd techniky pro ražbu a odtěžení (tak aby se do profilu bezpečně vešly jak technologické prvky pro ražbu, tak i pro větrání).
- Poškození luten při TP především při sacím způsobu větrání (vzdálenost luten od čelby musí být taková, aby nedocházelo k jejich poškození a současně taková, aby byla čelba spolehlivě odvětrávaná. Odvětrání se týká v případě neplynujících dolů a ČPHZ především zplodin po TP. Toto lze řešit tak jak na plynujících dolech pomocným foukacím tahem).
- Změny směru ražby (s ohledem na vložené tvarovky)
- Požadavek na počet ventilátorů s ohledem právě na parametry ražby a uspořádání lutnového tahu (v některých případech je nutno do LT vložit další ventilátor a potom je potřeba v předstihu volit konstrukci lutnového tahu tak a by to bylo možná. Dále lze u ČPHZ využít i možnosti, že ventilátor nemusí být v PVP).

Požadavky na konstrukci separátního větrání		
Druh větrání		
Typ ventilátoru		
Typ tlumičů hluku		
Typ použitých luten		
Průměr luten		m
Délka jedné lutny		m
Délka lutnového tahu		
➤ svislá		m
➤ vodorovná		m
➤ počet tvarovek v tahu		ks
➤ úhel tvarovek		°
Maximální vzdálenost luten od čelby		m
Aerodynamický specifický odpor luten		kgm ⁻⁷
<i>(pokud není znám aerodynamický odpor tak součinitel tření λ)</i>		

6.4 Konstrukce lutnového tahu a jeho specifikace

6.4.1 Použití druhu luten pro konstrukci lutnového tahu

Při konstrukci lutnového tahu musí platit vždy několik zásadních pravidel:

- na sací straně ventilátoru musí být vždy lutny pevné tak aby nemohlo dojít k jejich deformaci
- na přetlakové straně musí být lutny schopné vydržet tlak vyvolaný ventilátorem, tak aby při spuštění nedošlo jejich poškození
- na stejný tlak vyvolaný ventilátorem musí být dimenzovány i spoje jednotlivých luten

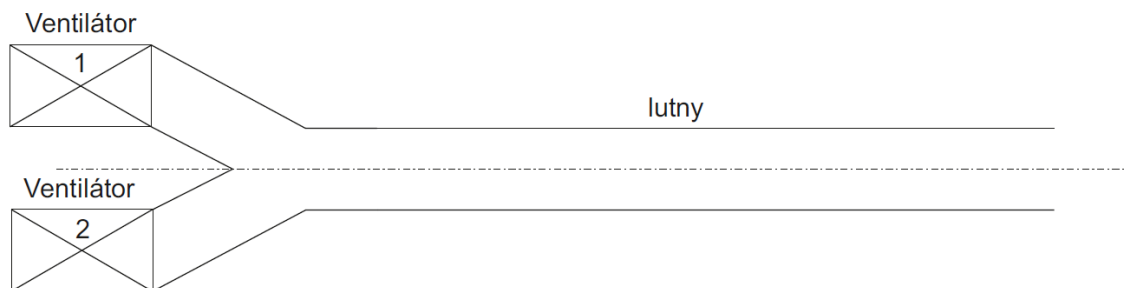
6.4.2 Použití tvarovek v lutnovém tahu

Při použití jednotlivých tvarovek v jednom lutnovém tahu lze jednoznačně stanovit objemový průtok na konci lutnového tahu.

Jestliže však dojde k rozdělení lutnového tahu pro odvětrání dvou a více pracovišť, je velice problematické zajistit s ohledem na odpor lutnového tahu stejný objemový průtok na jednotlivých pracovištích. Takže i toto musí předem řešit projekt, a to možnostmi regulace v jednotlivých odbočeních. Tato regulace může být pasivní, tedy vložением odporu do jednotlivých větví anebo aktivní vložением ventilátorů do jednotlivých větví. Výsledek ale musí být vždy stejný a to pokud chceme mít na konci jednotlivých lutnových tahů stejný objemový průtok, musí být odpor jednotlivých větví stejný.

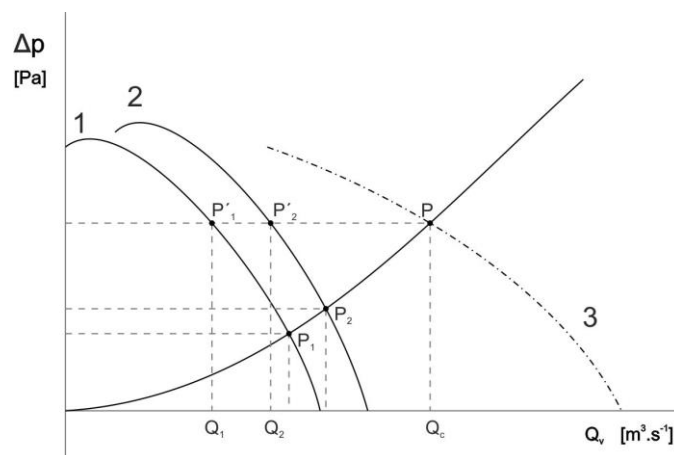
6.4.3 Spolupráce ventilátorů

Samostatnou kapitolu v konstrukci lutnových tahů je spolupráce ventilátorů na ústí lutnových tahů, kdy jsou v podstatě možné dvě varianty, a to sériové zapojení dvou ventilátorů anebo zapojení paralelní. Nejvýhodnější a zároveň nejjednodušší metodou řešení spolupráce ventilátorů ve větrní síti je metoda grafická.



Obr. 10 Schéma paralelního zapojení dvou ventilátorů

Nejčastějším způsobem spolupráce ventilátoru je spolupráce paralelní. Jejich zapojení ukazuje Obr. 10 a spolupráce je řešena graficky na Obr. 11. U paralelní spolupráce zůstává hodnota tlaku obou ventilátorů na stejné úrovni. Na úsečce tlaku se připočítává hodnota objemového průtoku ventilátoru IQ_2 k objemovému průtoku ventilátoru IQ_1 a získá se tím zvětšený objemový průtok větrů Q_c . Hodnota nového – tedy celkového objemového průtoku Q_c je značně závislá na charakteristikách jednotlivých ventilátorů.



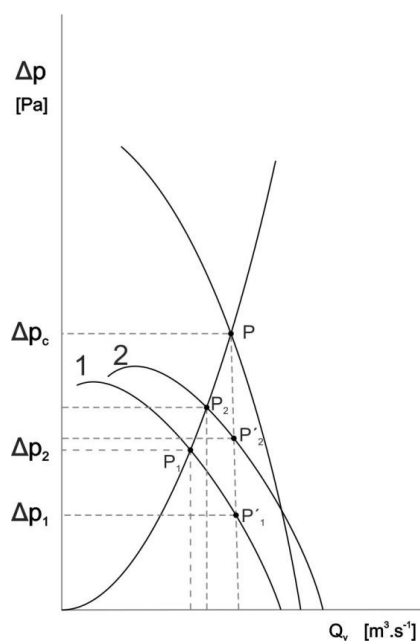
Obr. 11 Grafické řešení spolupráce dvou ventilátorů vedle sebe

Spolupráci dvou ventilátorů zapojených za sebou (Obr. 12) ukazuje grafické řešení na (Obr. 13). Zde se sčítají na úsečce objemových průtoků jednotlivé tlaky ventilátorů $\Delta p_1 + \Delta p_2$ a součet je celkový tlak vyvozovaný oběma ventilátory Δp_c . Celkový objemový průtok v tomto případě zůstává stejný. Tento způsob spolupráce se volí tehdy, kdy LT dosáhne značného aerodynamického odporu a provozní bod se tedy blíží k vrcholu charakteristiky, a hrozí zde nebezpečí nestabilního

chodu samostatného ventilátoru. Při sériové spolupráci může dojít k situaci, že při nižších hodnotách aerodynamického odporu dolu bude jeden z ventilátorů plnit funkci hráze.



Obr. 12 Schéma sériové zapojení dvou ventilátorů



Obr. 13 Grafické řešení zapojení dvou ventilátorů za sebou

Při sériovém zapojení ventilátorů tedy dochází ke sčítání tlaků a při paralelní ke sčítání objemového průtoku.

Podmínkou u obou spoluprací je, že jednotlivé ventilátory musí mít stejnou, anebo velmi podobnou charakteristiku. Při rozdílných charakteristikách dojde k nesprávné spolupráci těchto ventilátorů, která může vést až k destrukci celého navrženého systému větrání.

7 Návod ke stanovení optimální sestavy uspořádání LT na základě měření a modelování jednotlivých situací in situ.

Po návrh optimálního uspořádání lutnového tahu jsou v podstatě tři základní hlediska:

1. Nařízení nebo ustanovení předpisů, tedy legislativní hledisko
2. Možnosti z hlediska projektu raženého díla, tedy projekční hledisko
3. Řešení z hlediska nákladů, tedy finanční hledisko

7.1 Nařízení nebo ustanovení předpisů, tedy legislativní hledisko

Pro sestavení optimální sestavy LT je nutno rozlišit pro jaké prostředí bude lutnový tah navrhován. Jednotlivá prostředí z hlediska projektování lutnových tahů je nutno rozlišit:

1. Plynující uhelný důl
2. Neplynující neuhelný důl
3. ČPHZ (činnost prováděna hornickým způsobem) v podzemí

Toto rozlišení je nutné s ohledem na skutečnost, že pro každé prostředí platí různé předpisy, které nám stanovují některé zásady, které je při projektování nutno ctít a dodržet.

Jestliže se zaměříme na jednotlivé jmenované prostředí, tak pro:

1. Plynující uhelné doly z hlediska uspořádání a provozu lutnových tahů platí ustanovení ve Vyhlášce ČBÚ č. 22/1989 Sb. kde je stanoveno:

§ 99

(2) Jedním lutnovým tahem je dovoleno větrat nejvýše 2 neproražená důlní díla, v dole II. třídy nebezpečí však může být raženo pouze jedno z nich.

(4) Výdušné větry, které proudí z neproražených důlních děl nového patra, musí být v plynujícím dole odváděny přímo do celkového výdušného větrního proudu nebo do větrního proudu samostatného větrního oddělení, kterým nejsou větrána jiná pracoviště, kde se razí nebo dobývá.

§ 101

(1) Separátním větráním nesmí být v žádném místě průchodního větrního proudu odebíráno více než 70 % objemového průtoku důlních větrů.

(8) Bližší podmínky pro projektování, provoz a kontrolu separátního větrání v plynujících dolech stanoví zvláštní právní předpis.

V tomto případě se jedná o Vyhlášku č. 165/2002 Sb., o separátním větrání při hornické činnosti v plynujících dolech.

Tato vyhláška naprosto přesně stanoví podmínky pro upořádání lutnových tahů a snižuje možnosti pro optimální uspořádání.

2. Neplynující doly se také řídí Vyhláškou ČBÚ č. 22/1989 Sb. Zde jsou však ustanovení mírnější a dávají větší možnosti pro variantní řešení optimálního uspořádání lutnových tahů, přesto musí být dodrženo:

§ 137

(1) Separátním větráním nesmí být v žádném místě průchodního větrního proudu odebíráno více než 70 % objemového průtoku důlních větrů.

§ 138

První ventilátor separátně větraného důlního díla se musí ovládat z průchodního větrního proudu.

Činnost prováděná hornickým způsobem v podzemí podléhá ustanovení Vyhlášky č. 55/1996 Sb. ve které je stanoveno v:

§ 54

(3) Separátním větráním nesmí být v žádném místě průchodního větrního proudu odebíráno více větrů, než je objemový průtok tohoto větrního proudu.

(4) Lutnový tah je nutno vyvést do průchodního větrního proudu nebo na povrch do takové vzdálenosti, aby použité větry nebyly znovu vedeny do neproraženého podzemního díla.

(5) Ovládání prvního ventilátoru separátně větraného podzemního díla je dovoleno jen z průchodního větrního proudu nebo povrchu.

Z uvedeného výčtu ustanovení je zcela zřejmé, že předpis pro plynující doly je nejvíce svazující a nejvíce dává naprosto přesné pokyny pro uspořádání lutnových tahů. Nejvíce prostoru pro kreativitu dává předpis pro uspořádání lutnových tahů při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí.

7.2 Možnosti z hlediska projektu raženého díla, tedy projekční hledisko

Dalším omezujícím faktorem je samotný projekt díla. Většinou je projekt z pochopitelných důvodů zaměřen na ekonomiku ražby a k potřebám dalšího využívání hotového díla.

Více méně mimo ražeb velkoprostorových děl jako jsou např. tunely, stanice metra apod. je projekt veden úsporně s ohledem na profil díla a projektant, který navrhuje způsob větrání je potom značně omezen, aby do profilu umístil potřebný profil lutnového tahu.

V optimálním lutnovém tahu by mělo být co nejméně jednotlivých prvků, a to s ohledem na spoje jednotlivých prvků, které jsou potencialem zdrojem netěsností.

7.3 Řešení z hlediska nákladů, tedy finanční hledisko

Při navrhování optimálního lutnového tahu je nutno brát ohled i na ekonomiku. To znamená brát ohled na:

- Pořizovací náklady jednotlivých prvků separátního větrání
 - ✓ Návrh sestavy by neměl být nadměrně předimenzován.
 - ✓ Jedním ze zásadních aspektů je například sestavení lutnového tahu na výtlačné straně ventilátoru. Bezprostředně za ventilátorem musí být lutny, které jsou dimenzovány na maximální tlak vyvolaný ventilátorem. Tyto lutny jsou z nejpevnějšího materiálu, a tedy i nejdražší. Postupně jde ale přejít na lutny s menší tlakovou odolností, protože maximální tlak v lutnovém tahu postupně klesá.
 - ✓ Další úspora je ve volbě ventilátoru, a to hlavně ve výkonu jeho motoru a potom zda je možné jej spojit s frekvenčním měničem.



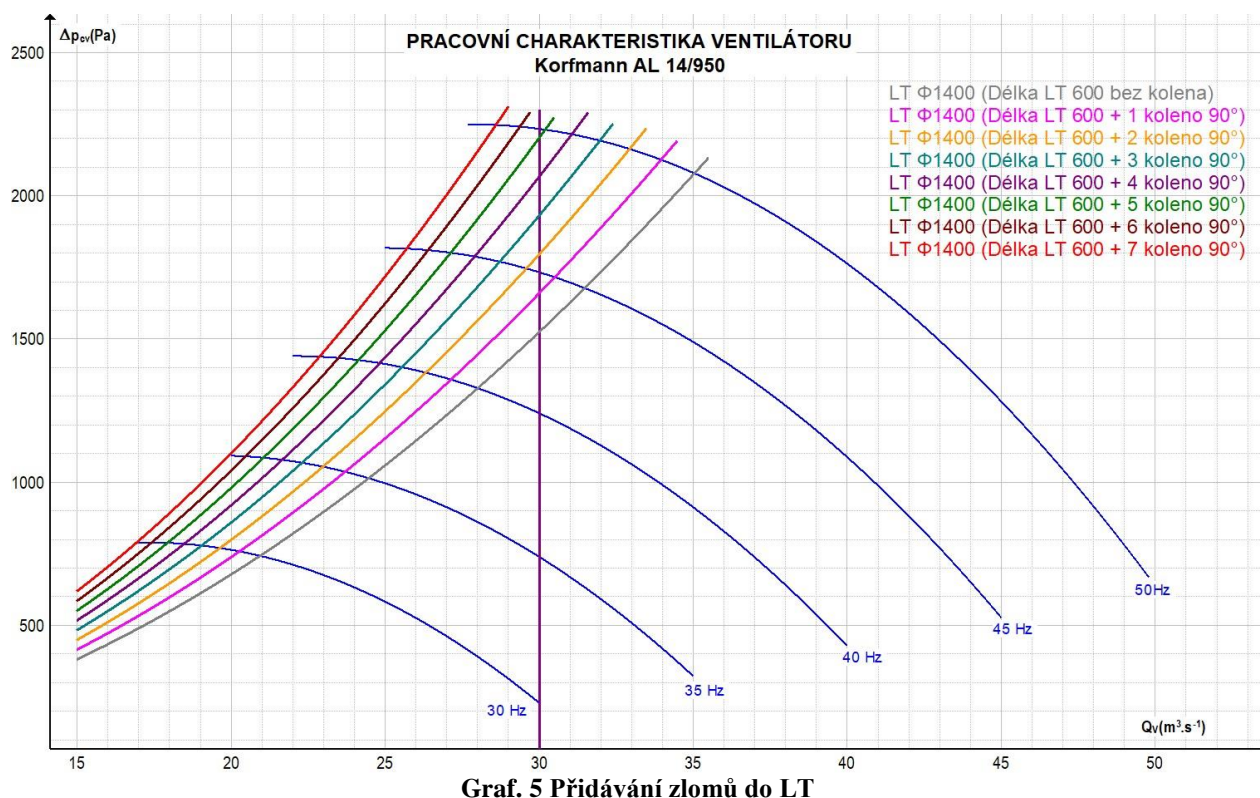
- Náklady na provoz separátního větrání
 - ✓ Náklady na provoz opět úzce souvisí se správnou volbou ventilátoru a správným používáním frekvenčního měniče
- Náklady na údržbu jednotlivých prvků separátního větrání
 - ✓ Zde je nutno volit takový lutnový tah, který lze při poškození opravit. Především se jedná o opravy poškozených lutnových tahů z hlediska těsnosti – opravy spojů a poškození luten vlivem dopravy materiálu a provozem.

8 Hlavní zásady pro uspořádání optimálního lutnového tahu

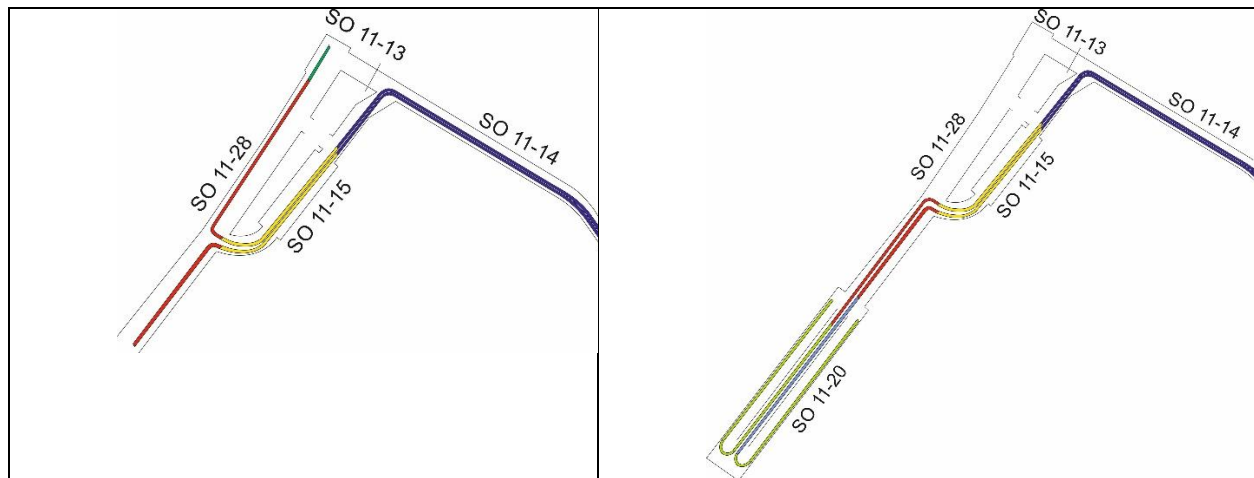
Jestliže tedy stanovíme hlavní zásady pro stanovení optimální sestavy LT tak jsou to tyto:

- Lutnový tah by měl být rovný s minimálním množstvím zlomů a zatáček, a pokud musí být v lutnovém tahu zlom, měl by být co nejvíce pozvolný.**

Následující graf byl vypracován na základě projektu přípravy stanice metra D, kdy do rovného LT byly postupně vkládány tvarovky reprezentující zakřivení LT za použití kolena 90°. Na grafu je vidět, že s přibývajícími zlomy narůstá celkový odpor LT, což má za následek zkracování odvětratelné délky LT a také podkročení požadovaného objemového průtoku větrů na pracoviště.



Pro názornost a představu jsou přiložena schémata projektu lutnových tahu pro jednotlivé stavební objekty.

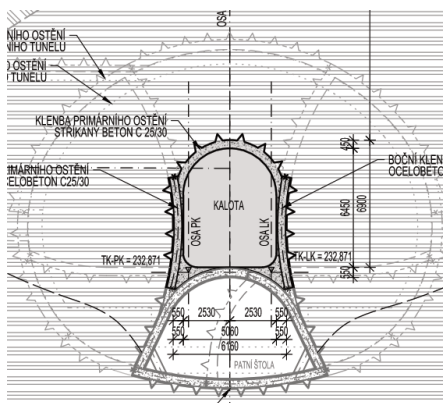


Obr. 14 Schémata projektu lutnových tahu pro jednotlivé stavební objekty

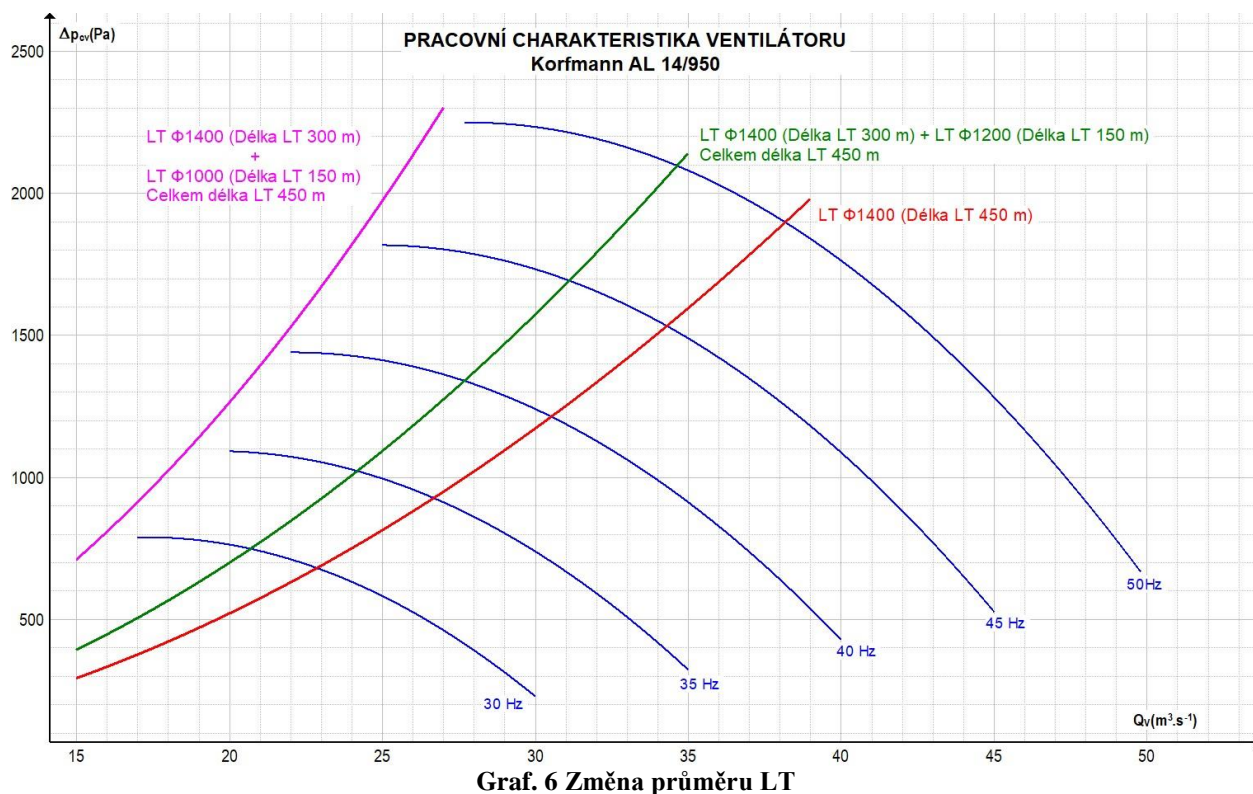
2. Lutnový tah by měl být po celé délce o jednom průměru

Následující graf vychází opět z přípravy ražby stanice metra D, kdy v projektových požadavcích bylo uvedeno, že začátek LT bude v průměru 1400 s přechodem na LT průměru 1200, eventuálně LT o průměru 1000. Tento požadavek vyplynul z projektu díla, kdy při ražbě střední části tunelu bude velmi náročné umístit dva lutnové tahy o průměru 1400 do profilu díla.

Z celkového profilu díla bude ze statických důvodů ražena pouze část „KALOTA“



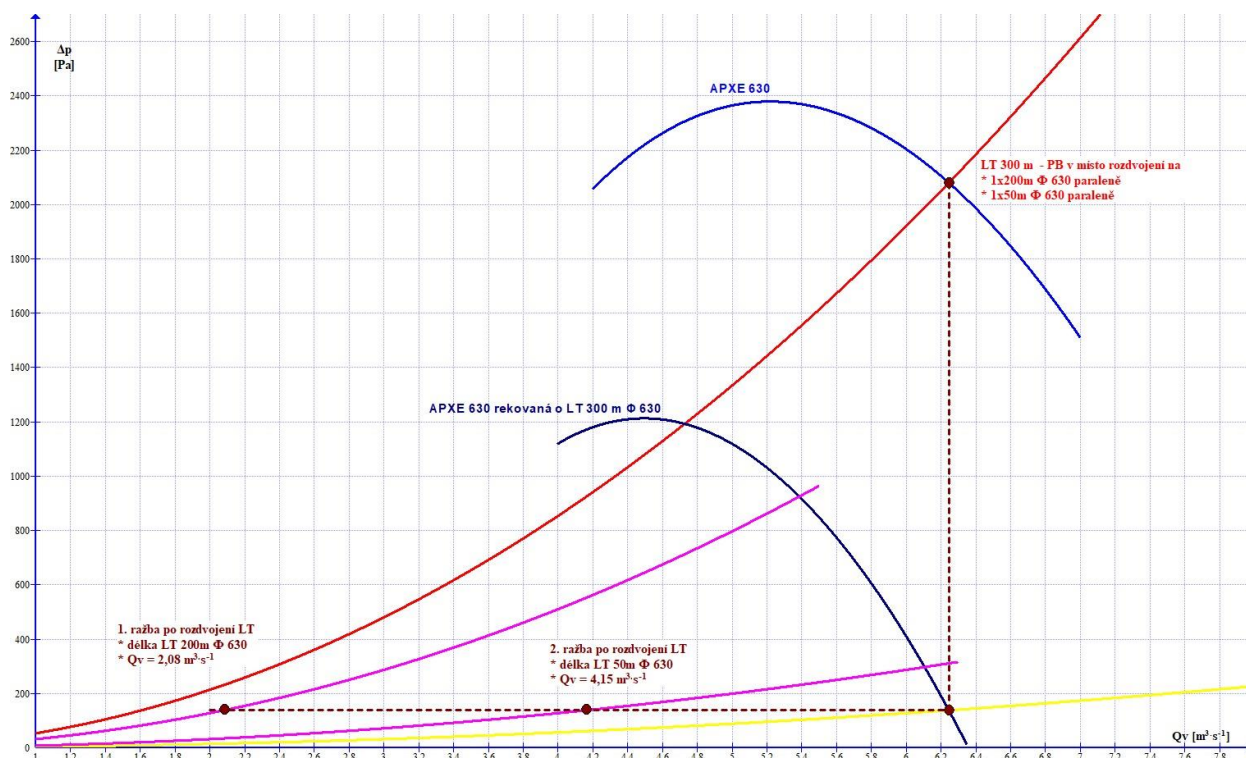
Obr. 15 Kalota



Z grafu je opět patrné, že změna průměru LT je limitována celkovým LT. Se snížením průměru rapidně narůstá odpor LT a snižuje se tím odvětratelná délka. V případě přechodu na průměr 1000 se odporová křivka LT ocitla mimo ověřenou charakteristiku ventilátoru, tzn. v nestabilní části.

3. Pro každé pracoviště by měl být jeden lutnový tah

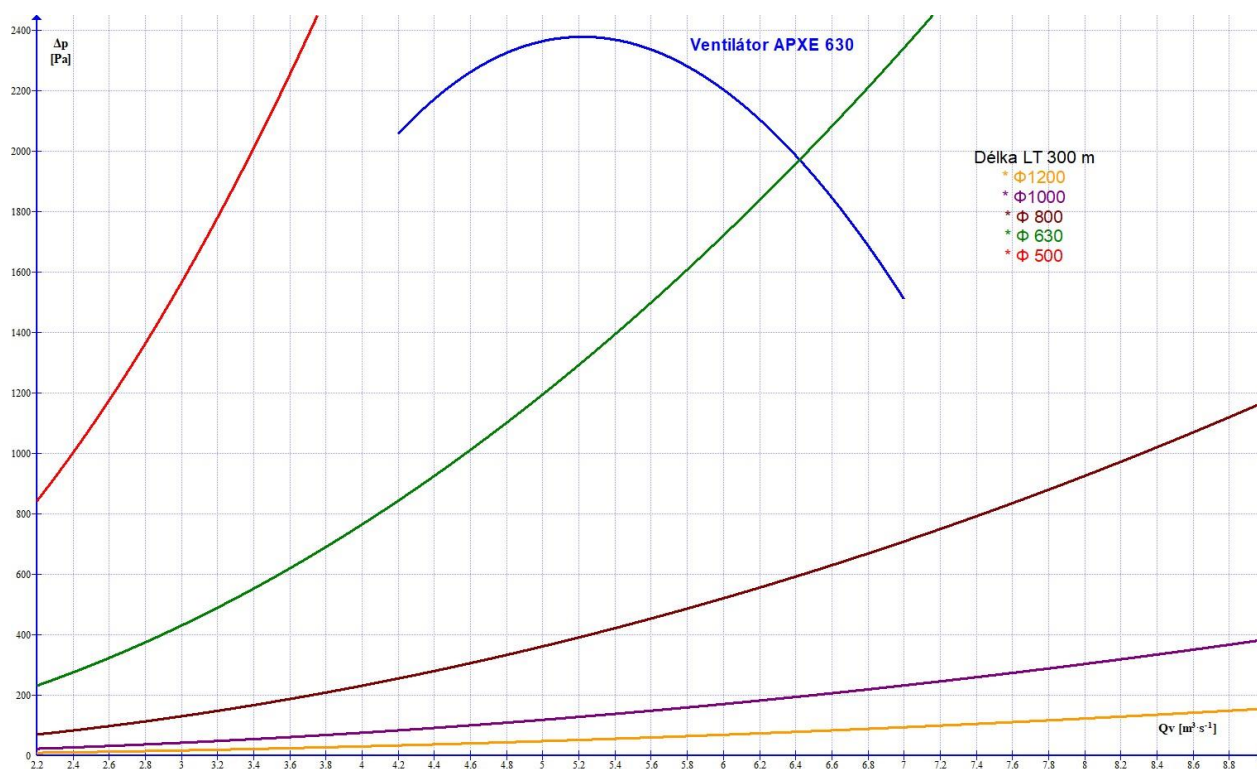
Následující graf vychází z projektu větrání ražby kabelového tunelu na Invalidovně, kdy byl v rámci projektu požadavek na rozdvojení LT. Z grafu je patrné, že když dojde k rozdvojení LT a nelze zajistit stejný postup obou větraných děl, dojde k rozdílnému objemovému průtoku větrů na pracovišti, což může být proti stanovenému projektu větrání.



Graf. 7 Rozdvojení LT

4. Průměr luteného tahu by měl být shodný s průměrem ventilátoru, případně o něco větší

Následující graf znázorňuje použití různých průměrů LT s jedním typem ventilátoru. Z přiloženého grafu jednoznačně vyplývá, že malý průměr ventilátoru nemůže být nasazen na extrémně větší průměr luten. Pravidlo by mělo být tak, že by měl být stejný průměr ventilátoru a luten.



Graf. 8 Ventilátor APXE 630 s různými průměry LT

5. V luteném tahu by mělo být minimální množství jednotlivých prvků

Toto pravidlo platí pro prvky, jako jsou klimatizační a odprašovací zařízení vložené do lutených tahů, které zvyšují jeho odpor. Lze do tohoto zahrnout i tlumiče hluku se středovým nábojem.

6. Náklady na pořízení sestavy, provoz a údržbu luteného tahu by měly být co nejmenší.

9 Změna legislativy v návaznosti na výpočet potřebného objemového průtoku větrů na ředění Exhalace CO₂

$$Q_{v_2} = \frac{q_2 + q_3}{C_2 - C_3} \cdot 100$$

Kde je

Q _{v2}	Potřebný objemový průtok větrů	(m ³ s ⁻¹)
q ₂	Předpokládaná exhalace CO ₂ v projektovaném důlním díle	(m ³ s ⁻¹)
q ₃	Celková exhalace oxidu uhličitého ze strojů a z lidí	(m ³ s ⁻¹)
c ₂	Přípustná koncentrace CO ₂ v projektovaném důlním díle	(%)
c ₃	Koncentrace CO ₂ v průchodním větrním proudu (dále jen "PVP") před zaústěním lutnového tahu do projektovaného důlního díla	(%)

$$q_3 = \frac{0,09n_1 + 33n_2}{3600}$$

Kde je

n ₁	předpokládaný počet pracovníků
n ₂	předpokládaný počet současně provozovaných strojů s naftovým motorem

Se změnou vyhlášek ČBÚ č. 22/1989 Sb. o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí a č. 55/1996 Sb. o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí dojde k nemožnosti využití určitých typů ventilátorů, protože nebudou při minimálních požadavcích na obsazenost pracoviště splňovat potřebné parametry a hlavně nedopraví požadované množství větrů. Dojde také k úplnému vyřazení ventilátorů a lutnových tahů menších průměrů.

Změna legislativy se týká složení důlního ovzduší § 83 vyhl. č. 22/1989 Sb. a § 50 vyhl. č. 55/1996 Sb., kdy původní povolená koncentrace CO₂ byla 1% a nově od 1. 7. 2022 platí koncentrace (CO₂) 4923 ppm, což je 0,4923 %.

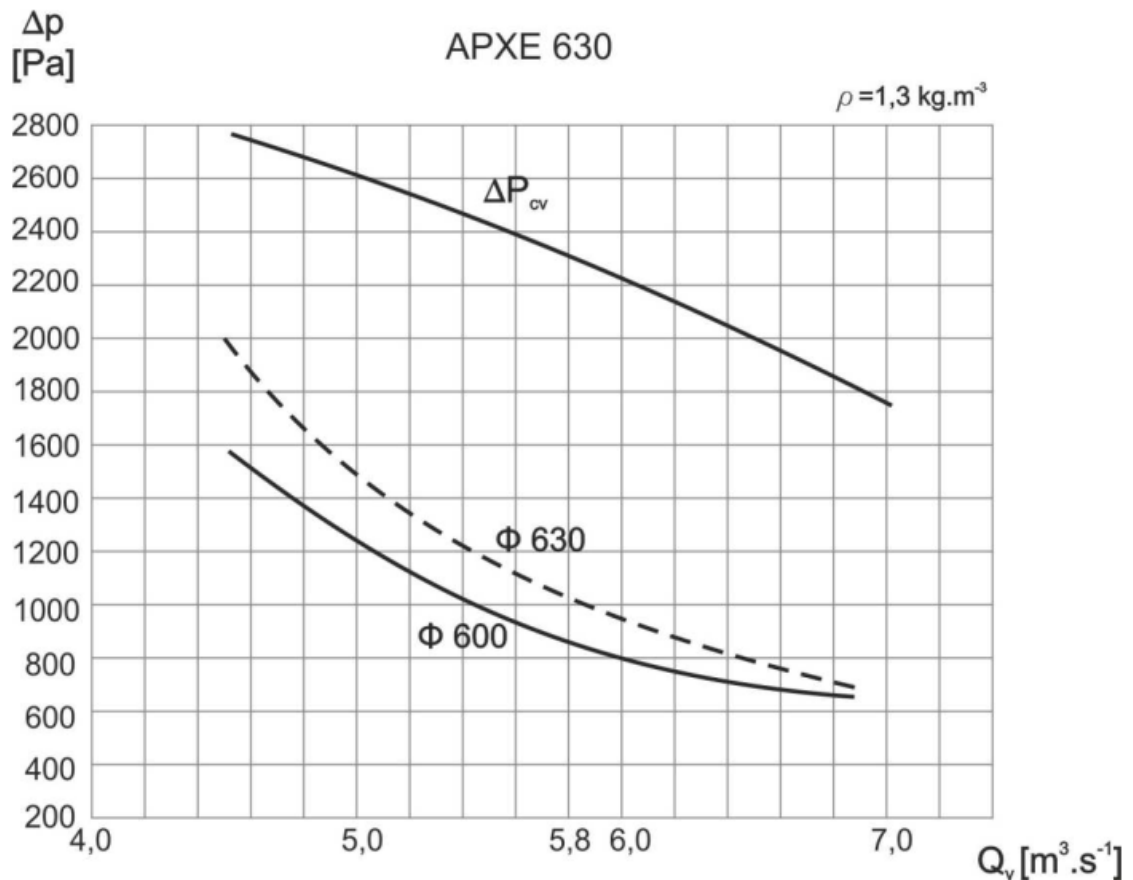
Při dosazení stejných parametrů do výše uvedeného vzorce dochází ke zdvojnásobení požadavku na potřebu objemového průtoku větrů na čelbě. V praxi to však může znamenat, že pro

malé profily, kdy byl použit např. ventilátor do průměru 630 mm (APXE630) bude nutno nasazovat ventilátory větší, protože nezvládnou požadovaný objemový průtok větrů.

Ventilátor APXE 630

Průměr (mm)	Druh podle pohonu	Označení ventilátoru	Elektromotor (kW)	Otáčky	Q _c (m ³ s ⁻¹)	□p (Pa)	□ (%)
				maximální (n.min ⁻¹)			
630	elektrický	APXE	22	2925	5,8	2280	59

Charakteristika ventilátoru:



Následující obrázky z nového SW ukazují výpočet před změnou výše citované legislativy:

Exhalace CO₂

q ₂ Předpokládaná exhalace kyslíčniku uhličitého (dále jen CO ₂) v projektovaném důlním díle	[m ³ s ⁻¹]	0,023
q ₃ Celková produkce CO ₂ pracovníků a z provozu strojů s naftovým motorem.	[m ³ s ⁻¹]	0.0092
n ₁ Předpokládaný počet pracovníků		3
n ₂ Předpokládaný počet současně provozovaných strojů s naftovým motorem v důlním díle		1
c ₂ Přípustná koncentrace CO ₂ v projektovaném důlním díle	[%]	1
c ₃ Koncentrace CO ₂ v PVP před zaústěním luvného tahu do projektovaného důlního díla	[%]	0,01

<input checked="" type="checkbox"/> Exhalace CO ₂ :	3.26 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> TP sací:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> TP foukací:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Vývin prachu:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Ředění zplodin vznětových motorů: info	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Nejvyšší počet pracovníků:	0 [m ³ s ⁻¹]
Qv0:	3.26 [m ³ s ⁻¹]

V tomto případě by do 1. 7. 2022 byl ventilátor APXE630 vyhovující pro ředění hodnot CO₂ v použitých větrech.

Následující výpočet ukazuje požadavek od 1. 7. 2022, kdy už ventilátor při dosazení stejných vstupních údajů není vyhovující:

Exhalace CO₂

q ₂ Předpokládaná exhalace kyslíčniku uhličitého (dále jen CO ₂) v projektovaném důlním díle	[m ³ s ⁻¹]	0,023
q ₃ Celková produkce CO ₂ pracovníků a z provozu strojů s naftovým motorem.	[m ³ s ⁻¹]	0.0092
n ₁ Předpokládaný počet pracovníků		3
n ₂ Předpokládaný počet současně provozovaných strojů s naftovým motorem v důlním díle		1
c ₂ Přípustná koncentrace CO ₂ v projektovaném důlním díle	[%]	0,4923
c ₃ Koncentrace CO ₂ v PVP před zaústěním luvného tahu do projektovaného důlního díla	[%]	0,01



<input checked="" type="checkbox"/> Exhalace CO ₂ :	6.68 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> TP sací:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> TP foukací:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Vývin prachu:	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Ředění zplodin vznětových motorů: info	0 [m ³ s ⁻¹]
<input type="checkbox"/> Nejvyšší počet pracovníků:	0 [m ³ s ⁻¹]
Qv0:	6.68 [m ³ s ⁻¹]

Do této zprávy zahrnujeme tento konkrétní případ z toho důvodu, že projektant větrání bude muset i s přihlédnutím k této skutečnosti optimálně navrhnout lůnový tah a pokud nebude mít k dispozici vhodnější ventilátor, bude muset omezovat počet pracovníků nebo strojů na pracovišti.

Pro projektování menších profilů podzemních děl jako jsou ražby kanalizací a kolektorů tedy do plochy raženého díla do 25 m² má snížení povolené koncentrace na hodnotu 0,4923 % naprosto *fatální* dopad.

Z tohoto pohledu bude nutné provést verifikaci používaného vzorce, jelikož je pravděpodobně zastaralý a hodnota 0,33 exhalace oxidu uhličitého ze stroje byl platný pro starší stroje. Tento fakt je podpořen kontrolou složení ovzduší v podzemí při provozu strojů s naftovým motorem, které se v podzemí běžně pohybují při menším objemovém průtoku. V jednotlivých vzorcích a ani při měření nebyly naměřeny hodnoty vyšší než 0,1-0,2 % CO₂.

10 Závěr

Předložená výzkumná zpráva byla zpracována v průběhu řešení projektu TITACBU033 Stanovení optimální sestavy (varianty) uspořádání separátního větrání dlouhých ražených děl zahrnuje nejdůležitější poznatky a metodické pokyny pro stanovení optimální sestavy LT.

V samotném začátku řešení projektu byly harmonogramem stanovené cíle projektu, které byly postupně v rámci jednotlivých kvartálů řešeny a jejich výčet je následující:

- Analýza využití aerodynamických vlastností prvků separátního větrání a jejich sestavy.
- Návrh optimálních sestav uspořádání luvových tahů.
- Stanovení základních pravidel pro sestavení optimální varianty uspořádání LT pro dané důlní. resp. podzemní dílo.
- Předložení návrhu návodu vedoucího ke stanovení optimální sestavy uspořádání LT,

Splnění uvedených cílů je obsahem předložené výzkumné zprávy, která je pro úplnost a celistvost projektu doplněna o obecný popis grafického řešení návrhu optimální sestavy LT, který byl využit pro vyvíjený SW.

Předkládaná výzkumná zpráva najde uplatnění nejen pro projektanty větrání a Státní báňskou správu, ale také pro studenty Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Hornicko-geologickou fakultu a fakultu Stavební. Uvedené fakulty mají ve svých studijních programech Těžba nerostných surovin a Geotechnika a podzemní stavitelství, v rámci předmětů Větrání důlních a podzemních děl a Větrání a bezpečnost v podzemním stavitelství, tuto problematiku povinnou ke složení zápočtu a zkoušky jako přípravu pro státní závěrečnou zkoušku a obhajobu diplomové práce.



11 Použitá literatura

- [1] PROKOP, Pavel a Pavel ZAPLETAL. *Typizační směrnice větrání dolů*. OKD, a.s., 2013.
- [2] OTÁHAL, Antonín, Jaroslav MIČULEK a Pavel PROKOP. *Separátní větrání: příručka pro techniky důlního větrání*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostrava, 1998. ISBN 80-86111-04-0.