



## OPTIMALIZACE DOPRAVNÍCH TRAS PÁSOVÉ DOPRAVY

**Horst Gondek<sup>1</sup>, Jan Šamárek<sup>2</sup>, Wladyslaw Bochenek<sup>3</sup>**

**Klíčová slova:** pásový dopravník, dopravní trať, výpočet dopravníku, napínání s pevným bubnem, napínání s pohyblivým bubnem

### **Abstrakt:**

Příspěvek popisuje možnost snižování počtu pásových dopravníků v důlním provozu. Obsahuje popis programu pomocí kterého lze celkovou délku dopravy optimalizovat a tím podstatně snížit počet pásových dopravníků včetně dalšího zařízení. Obsahuje také konkrétní příklad řešení.

### **1. Úvod**

Poruchy pásových dopravníků a na ně navázané časové prostoje mají podstatný vliv na ekonomiku dopravy v důlním podniku. Poruchovost dopravní trasy závisí na počtu pásových dopravníků, které do ní vstupují a proto je logické, že je zájem o neustálé prodlužování jednotlivých dopravníků v trase, neboť s poklesem jejich počtu se snižuje pravděpodobnost poruchy. Se snižováním počtů pásových dopravníků dochází také ke snižování počtů přesypů a tím k odebírání míst, kde dochází nejčastěji k poškození dopravního pásu.

Na pásový dopravník zařazený za podporubovým zařízením a na dopravník na magistrále jsou kladeny různé požadavky. Různorodost požadavků kladených na pásové dopravníky v trase vyžaduje individuální projektování dopravníků, při využívání značné unifikace jejich elementů a strojních celků. Projektant důlního závodu by měl mít možnost koncipovat celou dopravní trasu optimálně pro zadané vstupní parametry jako je dopravní kapacita, konfigurace trasy a místa eventuálně časová souběžnost nakládání. Jedním ze zdrojů z kterých čerpá je Návod k používání dávající však jen statickou informaci o dopravníku. Proto chceme v příspěvku informovat o nástroji, který dává obraz o opatřeních při volbě a situování stavebních dílů pásového dopravníku při změně třeba jen jediného vstupního parametru. Pod pojmem stavební díly zde rozumíme dopravní pás, trať, poháněcí stanici a napínací stanice.

Tímto „dynamickým“ nástrojem je vytvoření matematického modelu pro výpočet parametrů pásového dopravníku v tabulkovém procesoru Excel. Postup v možnostech programování dovoluje zkrácení času hodnocení jednotlivých možných variant konfigurace dopravní trasy. Projektant uživatele si tak vytváří reálnou představu o možných variantách kompozice dopravní trasy, kterou pak projektant výrobce „dotáhne“ do reálné podoby jednotlivých dopravníků.

Druhým přínosem tohoto programu je rychlý a vícevariantový výpočet nově konfigurovaných dopravníků, které plynou z časového posunu hornických prací způsobujících změny úklonu, délky a kapacity pásových dopravníků.

### **2. Obeznamení s programem**

Provozoschopná délka pásového dopravníku závisí na mnoha vstupních parametrech. Sběr těchto parametrů představuje časově náročný úkol. Rozdělíme tyto parametry na ty, které závisí na vlastnostech stroje a gurdy a na ty, které závisí na provozním místě nasazení. Jak je patrné

<sup>1</sup> Prof. Ing. Horst Gondek, DrSc. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra výrobních systémů a konstruování. Tř. 17 Listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, CZ, tel. +420 73 21 204, e-mail: horst.gondek@vsb.cz

<sup>2</sup> Ing. Jan Šamárek, NT min. s.r.o. Palhanská 5, 74601, Opava, CZ

<sup>3</sup> dr. Inż. Wladyslaw Bochenek, Katowicki Wegiel, ul. Franciszka Ścigaly 14, 40 205 Katowice, Poland

z následující tab.1, která obsahuje vstupní parametry výpočtu dle ČSN ISO 5048 lze řadu těchto parametrů do programu nastavit pevně díky tomu, že se jedná o unifikovaný stroj. Tyto oblasti jsou zamknuty a nemůže dojít k jejich změně a k narušení vypovídací schopnosti programu pro konkrétní stroj.

Z prvního sloupce Tab. 1 je patrné, jak velká oblast vstupních hodnot mohla být takto fixována.

**Tab. 1** Vstupní hodnoty výpočtu

<b>Dle konstrukce stroje Změna uživateli nepřístupná</b>	<b>Dle konstrukce stroje Změna uživateli zpřístupněná</b>	<b>Dle provozního nasazení Změna uživateli přístupná</b>
Účinnost poháněcí stanice pro hnané dopravníky	Dopravní výkon	Délka dopravníku
Účinnost poháněcí stanice pro brzděné dopravníky	Rychlost dopravního pásu	Úhel sklonu dopravníku ve směru pohybu
Hmotnost rotujících částí válečků 1 podpěry horní větve	Složka rychlosti dopravované hmoty ve směru pohybu pásu	Globální součinitel tření
Hmotnost rotujících částí válečků 1 podpěry spodní větve	Měrná hmotnost dopravního pásu	Globální součinitel tření pro brzděné dopravníky
Rozteč podpěr horní větve	Dovolené namáhání pásu v tahu	Umístění poháněcí stanice
Rozteč podpěr spodní větve	Poměrné prodloužení při dovoleném namáhání	Umístění napínacího zařízení
Součinitel tření mezi dopravovanou hmotou a bočnicemi	Počet instalovaných elektromotorů	Umístění napínacího zařízení vůči poháněcí stanici
Součinitel tření mezi dopravovanou hmotou a pásem	Počet brzd	Sypná hmotnost horniny
Světlná šířka bočního vedení		Volba velikosti napínací síly pro pasivní napínací stanici
Délka bočního vedení		Volba velikosti napínací síly pro aktivní napínací stanici
Počet stěračů pásu		Doba rozběhu dopravníku
Odpor v ohybu pásu na bubnech a v ložiskách bubnu		Doba brzdění dopravníku
Šířka dopravního pásu		
Průměr hnacího bubnu		
Počet hnacích bubnů		
Součinitel tření mezi bubnem a pásem (znečistěná strana pásu)		
Součinitel tření mezi bubnem a pásem (čistá strana pásu)		
Úhel opásání poháněcího bubnu č.1		
Úhel opásání poháněcího bubnu č.2		
Statická bezpečnost proti prokluzu pásu na bubnu		
Otáčky elektromotoru		
Brzdny moment jedné brzdy		
Moment setrvačnosti typického bubnu		
Moment setrvačnosti elektromotoru		
Moment setrvačnosti spojky		
Moment setrvačnosti převodovky		
Největší dovolený průvès pásu		
Součinitel rozběhu		

Další zjednodušení je dosaženo tím, že program je řešen dle normy ČSN ISO 5048, která nezahrnuje dopravníky s nepravidelným profilem trasy. Pro jejich výpočet lze sice také použít tento program, ale vyžaduje zásahy do uzamčené oblasti a je potřebná konzultace s projektanty výrobce dopravníku a tedy tohoto programu.

Program je zpracován jako soubor tabulkového procesoru, kde jednotlivé listy představují jednotlivé typy pásových dopravníků. Projektant zvolí list s dopravníkem, který nejlépe odpovídá požadované dopravní kapacitě. Následně zadá povinné vstupní parametry, které charakterizují místo nasazení a prostředí v kterém má dopravník pracovat a nebo v kterých pracuje. Mezi tyto parametry patří také charakteristika gurty. Program nabízí možnost volby z nejpoužívanějších typů gurty.

Program následně podává tyto informace:

- výpočet parametrů dopravníku pro požadovanou kapacitu a získání různých řídicích parametrů jako je nezbytná potřeba příkonu, koeficient bezpečnosti pásu, minimální hodnota předpětí v pásu pro různé typy napínacích mechanismů
- okamžitou změnu parametrů pro požadovanou kapacitu podle místa situování pohonů, podle počtů a typů hnacích bubnů, způsob provedení rozběhu, typ napínacího zařízení apod.
- podle těchto informací umožňuje plánovat modernizační práce, investice, předpokládání nákupu ne jenom mechanických celků, ale také elektrických jako je délky kabelů, počtu transformátorů apod.
- umožňuje pracovníkům doložit první představu o požadavcích na nový stroj

Projektant si může nakopírovat buňku s výsledkem, který má pro něj největší důležitost, do volných buněk pod oblasti zadávání vstupních hodnot a tím sledovat okamžitou změnu bez nutnosti posunu kurzoru v tabulce. Odemknutím oblasti vstupních hodnot stanovených konstrukci stroje a gurty a jejich změnou, lze využít popsaný matematický model pro řešení pásu s proměnlivým sklonem, s několika plnicími místy a s různým zatížením těživem po délce pásu. Toto jde však již nad rámec běžného uživatele a proto není o tomto dále pojednáno.

### 3. Příklad vlivu situování poháněcí stanice na tah v dopravním páse

Část výpočtu pásového dopravníku pro úpadní dopravu je uvedena v tab. 2. Tento dopravník je uspořádán tak, že napínací stanice je umístěna v místě nejmenšího tahu v gurtě tj. za výsypným bubnem.

**Tab. 2** Napínací stanice u výsypu a pohon u vratné stanice

č.ř.	Název	Ozn.	Vypoč. hodnota	Jedn.	Poznámka
1	Dopravní výkon	Q	<b>1100</b>	t.h <sup>-1</sup>	
2	Délka dopravníku	L	<b>420</b>	m	
3	Rychlost gurty	v	<b>2,5</b>	m.s <sup>-1</sup>	
4	Úhel sklonu dopravníku ve směru pohybu	δ	<b>12</b>	°	Doprava úpadně
67	Doporučený instalovaný výkon	P	<b>294</b>	kW	
118	Zvolte celkový tah nap. zařízení <b>s pohyblivým bubnem</b> N <sub>Z</sub> A	N <sub>Z</sub> A	<b>24500</b>	N	
156	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro ustálený stav	k <sub>U</sub>	<b>4,16</b>		má být ≥ 1,3
157	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro rozběh	k <sub>R</sub>	<b>9,72</b>		má být ≥ 1,3
158	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro brzdění	k <sub>B</sub>	<b>3,02</b>		má být ≥ 1,3

Předem ale upozorňujeme, že zde hovoříme o skutečné napínací stanici, která jsou schopna udržet nastavené napětí v gurtě, ne tedy o zásobníku pásu, který se v našich dolech neprávem napínací stanici nazývá. Poháněcí stanice je umístěna před vratným bubnem dopravníku (schéma viz obr.1).

Výpočetní program nám prokáže, jak se tato příznivá situace (viz. koeficienty k<sub>U</sub>, k<sub>R</sub>, k<sub>B</sub>) zhorší v důsledku přemístění napínací stanice. V tab. 3 je část výpočtu téhož dopravníku s napínací stanicí umístěnou před poháněcí stanicí u vratného bubnu (schéma na obr.2). Jak je patrné z tab. 3 pouhým tímto přemístěním napínací stanice při zachování totožné napínací síly, se snížily koeficienty pro prokluz pásu na hnacím bubnu pod přípustnou hodnotu pro ustálený stav a brzdění. Pokud by byl pásový dopravník takto sestaven, docházelo by při ustáleném chodu a v přechodovém stavu tj. při brzdění k prokluzu gurty po poháněcích bubnech, což se odráží na podstatném snížení její životnosti i na životnosti poháněcí soustavy. Projektant má takto možnost volit takovou sestavu a umístění jednotlivých prvků, která zajistí správnou funkci a zvýší životnost zejména gurty a poháněcí soustavy.

Je tak možno podstatně snížit neustálé nářky důlních techniků nad opotřebením gurtu a jejich spojů a poruchovostí převodových skříní.

**Tab. 3** Napínací stanice a pohon u vratné stanice

č.ř.	Název	Ozn.	Vypoč. hodnota	Jedn.	Poznámka
1	Dopravní výkon	Q	<b>1100</b>	t.h <sup>-1</sup>	
2	Délka dopravníku	L	<b>420</b>	m	
3	Rychlost dopravního pásu	v	<b>2,5</b>	m.s <sup>-1</sup>	
4	Úhel sklonu dopravníku ve směru pohybu	δ	<b>12</b>	°	Doprava úpadně
67	Doporučený instalovaný výkon	P	<b>294</b>	kW	
118	Zvolte celkový tah nap. zařízení <b>s pohyblivým bubnem</b> NZ <sub>A</sub>	NZ <sub>A</sub>	<b>24500</b>	N	
156	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro ustálený stav	k <sub>U</sub>	<b>1,10</b>		má být ≥ 1,3
157	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro rozběh	k <sub>R</sub>	<b>2,18</b>		má být ≥ 1,3
158	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro brždění	k <sub>B</sub>	<b>0,87</b>		má být ≥ 1,3

#### 4. Příklad volby způsobu rozjezdu na potřebný instalovaný příkon

V době rozběhu dopravníku přibývá k síle potřebné pro ustálený chod dopravníku ještě síla dynamická. Tato dynamická síla je vyvolána urychlováním rotujících hmot pohonu, bubnů a válečku v trati a posuvných hmot gurtu a horniny. Dynamická síla je tedy přímo úměrná redukované hmotnosti prvků řešeného dopravníku a zrychlení těchto hmotností. V Tab. 4 je uvedena část výpisu výpočtového programu, kde jsou uvedeny tahy v gurtě při neřízeném rozběhu dopravníku (nevolíme dobu rozběhu). V Tab. 5 je stejná část výpisu pro tentýž dopravník, ale s již elektricky řízeným rozběhem (volíme dobu rozběhu). Porovnání těchto dvou výstupů okamžitě ukazuje hned tři přínosy řízeného rozběhu:

- nižší tahy v gurtě a tím možná volba gurtu s nižší dovolenou pevností v tahu,
- instalace elektromotorů o nižším výkonu,
- nižší hodnota předpětí napínacího zařízení.

**Tab. 4** Část výpisu z programu při neřízeném rozběhu

č.ř.	Název	Ozn.	Vypoč. hodnota	Jedn.	Poznámka
87	Volba doby rozběhu dopravníku	t <sub>r</sub>	<b>18</b>	s	
123	<b>T1 - rozběh</b>	T <sub>1</sub>	<b>5000</b>	N	Spodní větev
124	<b>T2 - rozběh</b>	T <sub>2</sub>	<b>9860</b>	N	Spodní větev
125	<b>T3 - rozběh</b>	T <sub>3</sub>	<b>10888</b>	N	Horní větev
126	<b>T4 - rozběh</b>	T <sub>4</sub>	<b>34787</b>	N	Horní větev
157	<b>Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro rozběh</b>	k <sub>R</sub>	<b>1,44</b>		

**Tab. 5** Část výpisu z programu při řízeném rozběhu

č.ř.	Název	Ozn.	Vypoč. hodnota	Jedn.	Poznámka
85	Skutečné zrychlení dopravníkových hmot	a <sub>r</sub>	<b>0,51</b>	m.s <sup>-2</sup>	<b>Splněno</b>
86	Skutečná doba rozběhu	t <sub>rs</sub>	<b>4,9</b>	s	.....
87	Volba doby rozběhu dopravníku	t <sub>r</sub>	<b>4,9</b>	s	<b>Dobře zvoleno</b>
123	<b>T1 - rozběh</b>	T <sub>1</sub>	<b>5000</b>	N	Spodní větev
124	<b>T2 - rozběh</b>	T <sub>2</sub>	<b>12094</b>	N	Spodní větev
125	<b>T3 - rozběh</b>	T <sub>3</sub>	<b>13143</b>	N	Horní větev
126	<b>T4 - rozběh</b>	T <sub>4</sub>	<b>46104</b>	N	Horní větev
157	<b>Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro rozběh</b>	k <sub>R</sub>	<b>1,05</b>		

## 5. Příklad vlivu aktivní a pasivní napínací stanice na předpětí v dopravním páse

Základním předpokladem pro přenos obvodové síly na hnacím bubnu je nutná existence jistého tahu v odbíhající větvi gurtu z hnacího bubnu. Při posuzování sil (tahů) v gurtě musíme rozlišovat dva základní typy napínacího zařízení, které nám zabezpečuje tah v odbíhající větvi pro všechny režimy chodu dopravníku:

- napínání s pevným bubnem, u něhož napínací buben ve všech režimech chodu dopravníku nezmění svou polohu (jde o zásobník gurtu),
- napínání s pohyblivým bubnem, které samočinně reaguje na deformace pásu.

V Tab. 6 je uvedena část výpisu popisovaného výpočtového programu, kde je možno porovnat vliv jednotlivých typů napínacích zařízení u identických dopravníků. Jak je z tabulky patrné, síly, které zavádí napínací zařízení typu a) trvale do pásu, spoje pásu a do konstrukce dopravníku jsou mnohem vyšší oproti aktivnímu napínacímu zařízení typu b) s pohyblivým bubnem. Pro názornost je v Obr. 3 tento výstup uveden graficky. Projektant si tedy pomocí tohoto programu může samostatně vytvořit názor na potřebu typu napínacího zařízení pro konkrétní pásový dopravník.

**Tab. 6 Část vypisu programu pro srovnání vlivů jednotlivých typů napínacího zařízení**

č.ř.	Název	Ozn.	Vypoč. hodnota	Jedn.	Poznámka
118	Zvolte celkový tah nap. zařízení <b>s pohyblivým bubnem</b> NZ <sub>A</sub>	NZ <sub>A</sub>	<b>10000</b>	N	<b>Splněno</b>
...	.....	....	.....	.....	.....
156	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro ustálený stav	k <sub>U</sub>	<b>1,68</b>		
157	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro rozběh	k <sub>R</sub>	<b>1,31</b>		
158	Bezpečnost proti prokluzu na poháněcím bubnu pro brždění	k <sub>B</sub>	<b>5,41</b>		
159	Síla napínacího zařízení <b>s pevným bubnem</b> (při dodržení hodnoty koeficientu k <sub>U</sub> )	NZ <sub>PU</sub>	<b>27311</b>	N	ustálený chod
160	Síla napínacího zařízení <b>s pevným bubnem</b> (při dodržení hodnoty koeficientu k <sub>R</sub> )	NZ <sub>PR</sub>	<b>38170</b>	N	rozběh
161	Síla napínacího zařízení <b>s pevným bubnem</b> (při dodržení hodnoty koeficientu k <sub>B</sub> )	NZ <sub>PB</sub>	<b>20678</b>	N	brždění

## 6. Závěr

Výše uvedený popis a příklady využití dokazují, že i takto jednoduchý matematický model pásového dopravníku může podstatnou měrou přispět k optimalizaci dopravních tras.

Projektantovi uživatele unifikovaného stroje je umožněna analýza činitelů zatížení, simulace různých stavů práce dopravníku a může si zvolit nejekonomičtější řešení. Není výjimkou, že důlní podniky nakupují pásové dopravníky jako housky na krámě. Dejte mi 3 ks po 300 metrech a uvidím jak to pak sestavím. Tato strategie je správná pro předpokládané nasazení na kratší trasy s nejistým časem a místem použití. Tam, kde ale půjde o rozhodující dopravní linky tzv. magistrály, vyplatí se optimalizace pomocí předvedeného programu.

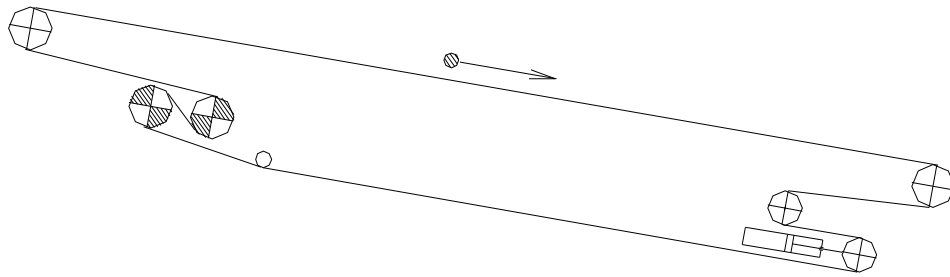
Projektanti se tak mohou vyvarovat charakteristických znaků nesprávně konfigurovaných jednotlivých dopravníků v trase:

- nízké a nebo zbytečně velké výkony elektromotorů
- neracionální rozběhy dopravníku
- nesprávná volba parametrů gurtu
- zbytečně velké vstupní tahy v gurtě apod.

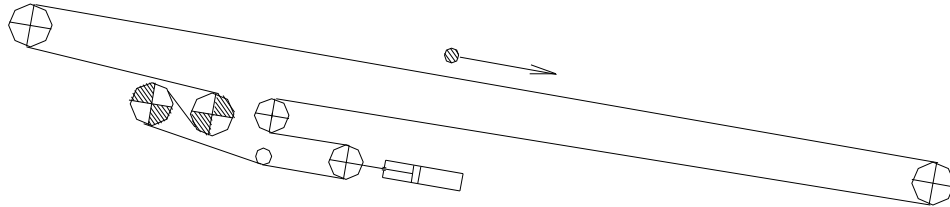
Projektanti výrobce a uživatele se mohou pomocí tohoto programu dopracovat k ekonomičtějším dopravním trasám.

## Literatura:

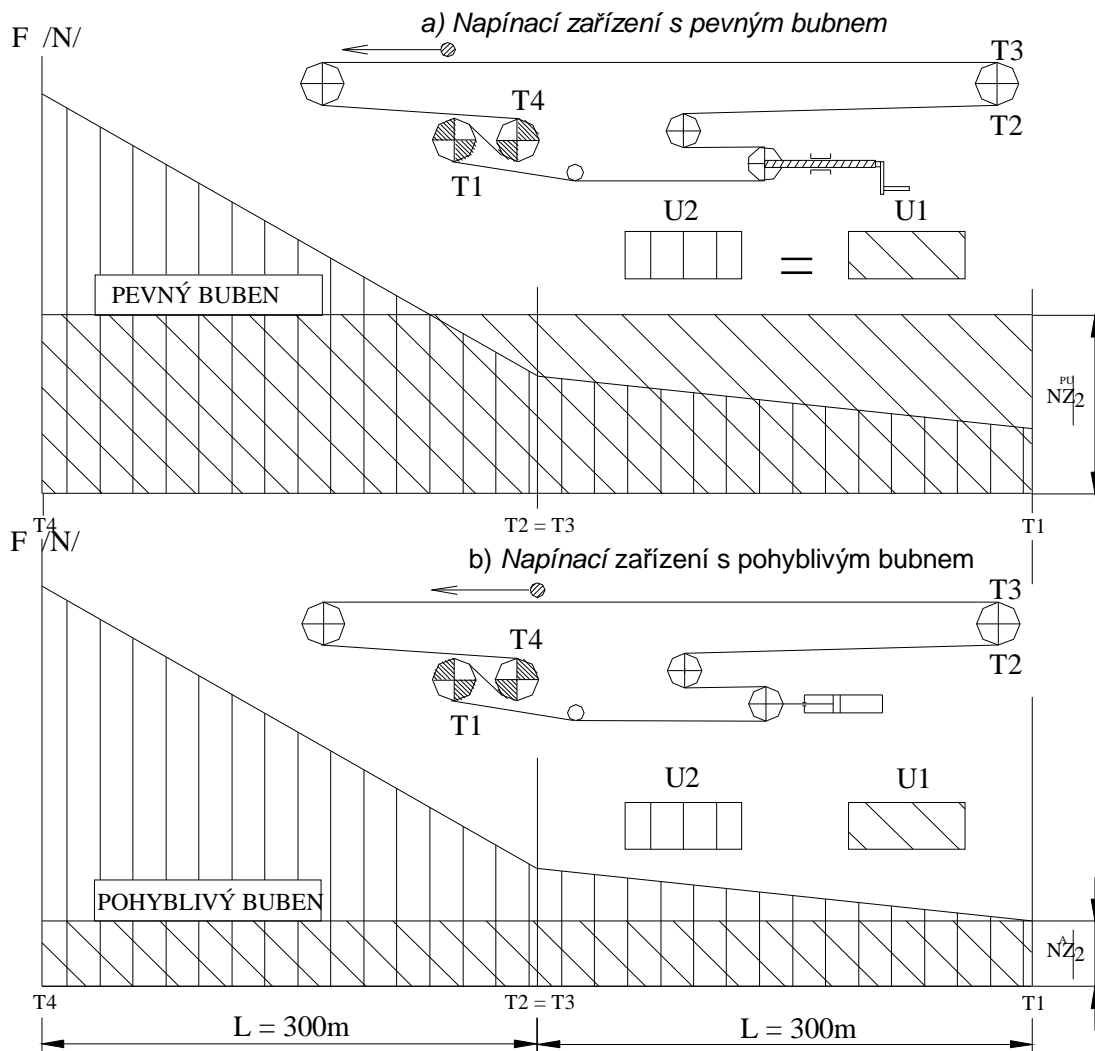
- [1] Zur, T., Hardygora, M.: Przenosniki tasmowe w gornictwie. Katowice, 1996.
- [2] Vojtek, Z., Matušová, S., Polák, J., Macura, M., Malýška, B.: PVC dopravní pásy Fatra.
- [3] Antoniuk, J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Katowice, 1990.
- [4] Firemní literatura firmy Creative engineering co.
- [5] Firemní literatura k software BELT-PRO.



**Obr. 1** Schéma konfigurace NS za výsypným bubnem, PS před vratným bubnem



**Obr. 2** Schéma konfigurace NS před PS, PS před vratným bubnem



**Obr. 3** Diagramy tahů v gurtě u různých napínacích systémů

Recenzia/Review: prof. Ing. Ján Boroška, CSc.