

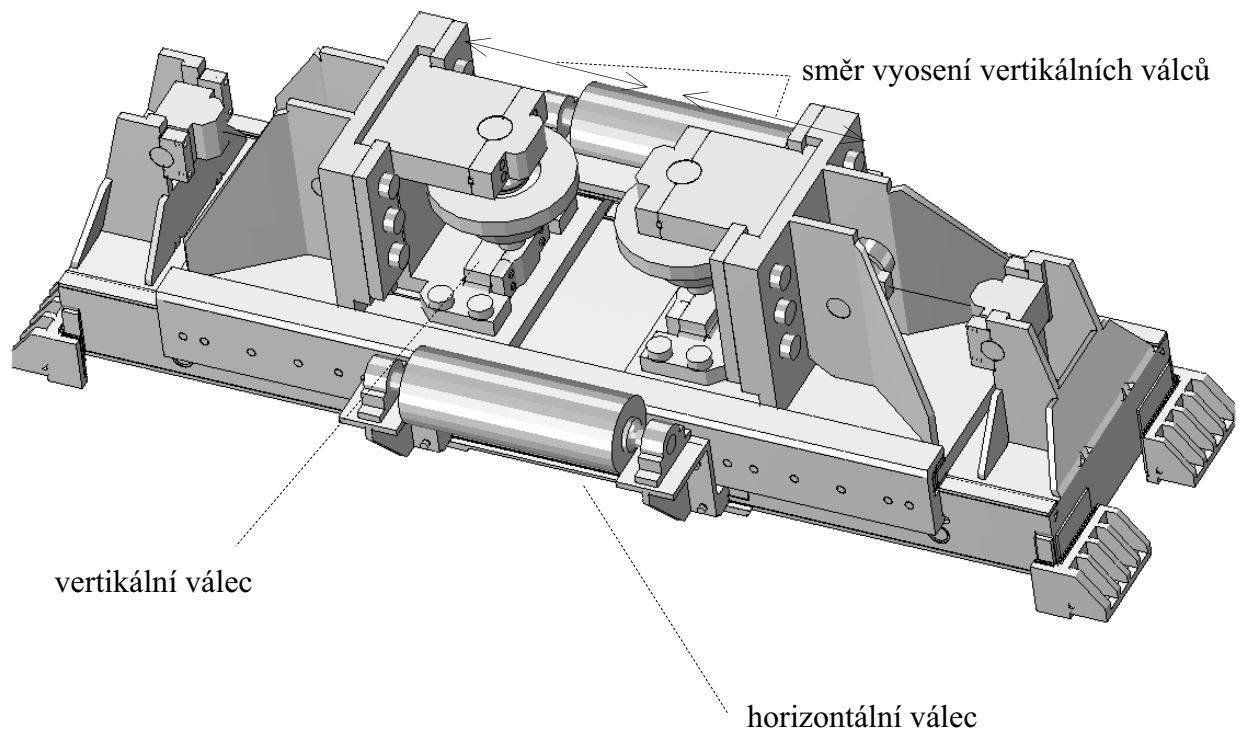
ON SIDE SWEEP OF SHEET PILES STRAIGHTENING

J. Malec*, F. Ficek*

Summary *The paper deals with the design of an equipment for side sweep straightening of sheet piles and minimization of length of non-straightened ends of sheet piles. The computational modelling based on the finite element method was used in the design.*

1. Úvod

Na rekonstrukci Těžké profilové tratě vznikl požadavek na modernizaci výstupního stůlu. Současný stůl je subtilní a vzhledem k sortimentu profilů a objemu výroby je nevyhovující. Nový výstupní stůl má být dostatečně tuhý s mechanickými pohony. Z důvodu otevřeného profilu štětovnice dochází při tlačení štětovnice rovnačkou mezi vyosené vertikálních válců výstupního stůlu k jejímu zkroucení a následně k deformaci. Z toho vyplynul požadavek na výpočtové modelování navedení a rovnání boční křivosti štětovnice.



Obr. 1 Výstupní stůl na rovnání boční křivosti štětovnic

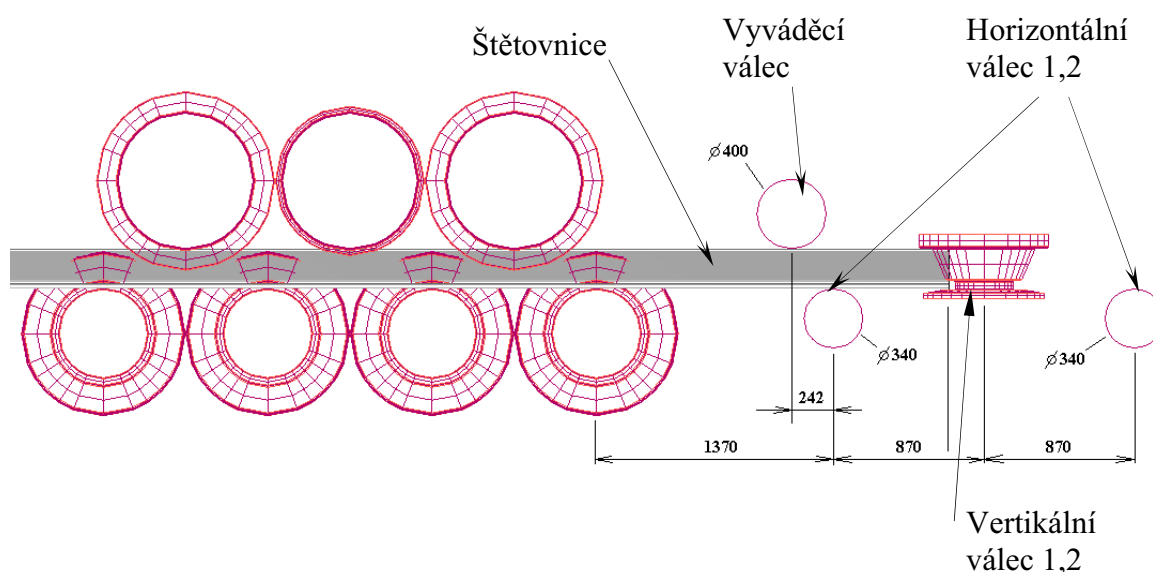
* Ing. Jaroslav Malec, tel.: +420.566 643460, e-mail: jaroslav.malec@zdas.cz

* Ing. František Ficek, tel.: +420.566 642595, e-mail: frantisek.ficek@zdas.cz
 ŽDAS a.s. Strojírenská 6, 59171 Žďár nad Sázavou

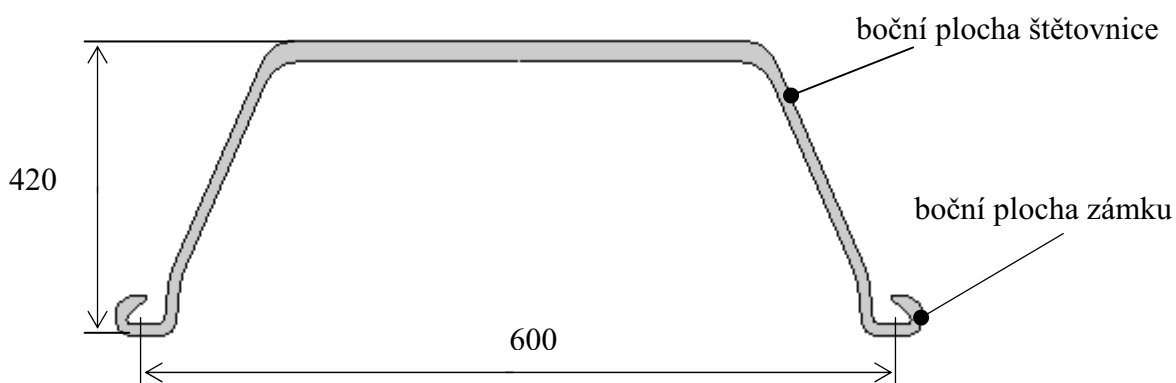
2. Požadavky na výstupní stůl

Hlavním požadavkem na výstupní stůl (obr. 1) je eliminovat boční křivost štetovnice na křivost povolenou normou ČSN EN 10248-2 $q = 0,2\% L$, kde „L“ je délka štetovnice. Maximální boční křivost 21m dlouhé štetovnice je 300 mm. Dalším požadavkem je použít takové uspořádání válců, které při zavedení mezi vyosené válce a následného rovnání boční křivosti štetovnice zajistí minimální deformaci začátku štetovnice. Rychlost rovnání štetovnice v horizontální rovnačce a tím i ve výstupním stole je 1,2 m/s. Na základě provozních zkušeností je zjištěno, že zmíněná maximální křivost se eliminuje vyosením vertikálních válců maximálně o ~ 50 mm, jsou-li vzdálené 1700 mm od nejbližšího válce horizontální rovnačky.

3. Výpočtové modelování deformace štetovnice



Obr. 2 Schéma uspořádání válců u výpočtového modelování

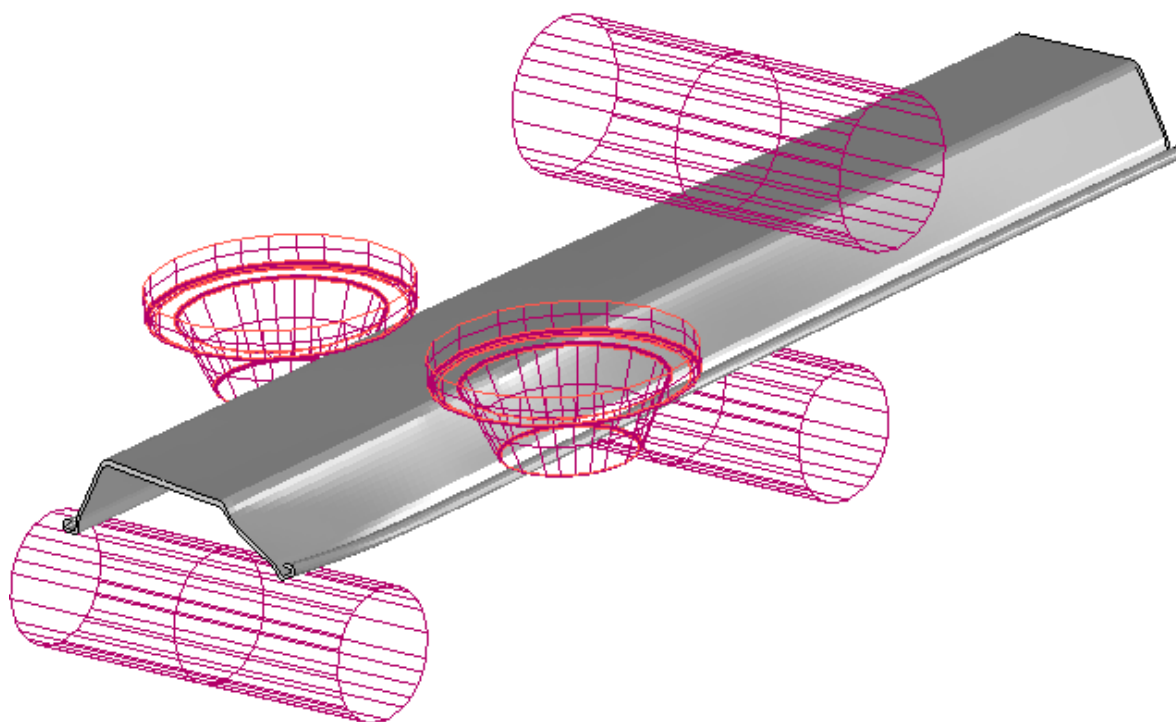


Obr. 3 Obrázek štetovnice VL606

Výpočtový model je vytvořen tak, aby pro řešení bylo možné použít programový systém metody konečných prvků MSC.MARC. Geometrie výpočtového modelu obsahuje válce

horizontální rovnačky, horizontální válce 1 a 2 výstupního stolu, vertikální válce 1 a 2 výstupního stolu (obr. 2) a rovnanou štětovnici (obr. 3). Řešení této úlohy proběhlo porovnáním devíti variant uspořádání válců výstupního stolu a úprav jejich tvarů.

3.1 Varianta vertikálních válců s horním lemem

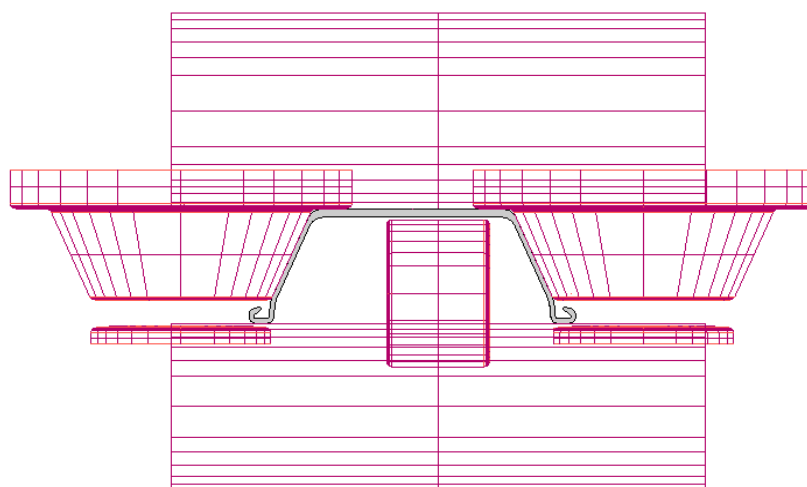


Obr. 4 Schéma varianty Vertikální válce s horním lemem

Vertikální válce jsou kuželové s horním lemem (obr. 4). Při zavádění štětovnice do vyosených vertikálních válců kuželová plocha a otevřený profil štětovnice způsobuje kroucení profilu štětovnice. V okamžiku kontaktu štětovnice s vertikálními válci je štětovnice podepřena horizontálním válcem 870 mm před vertikálními válci, toto způsobuje zkroucení profilu a vyhnutí zámku směrem dolů. Při následné naražení a zvednutí zámku druhým horizontálním válcem dojde ke zborcení začátku profilu.

Tato deformace je nevyhovující.

3.2 Varianta vertikálních válců se středovým horizontálním válcem

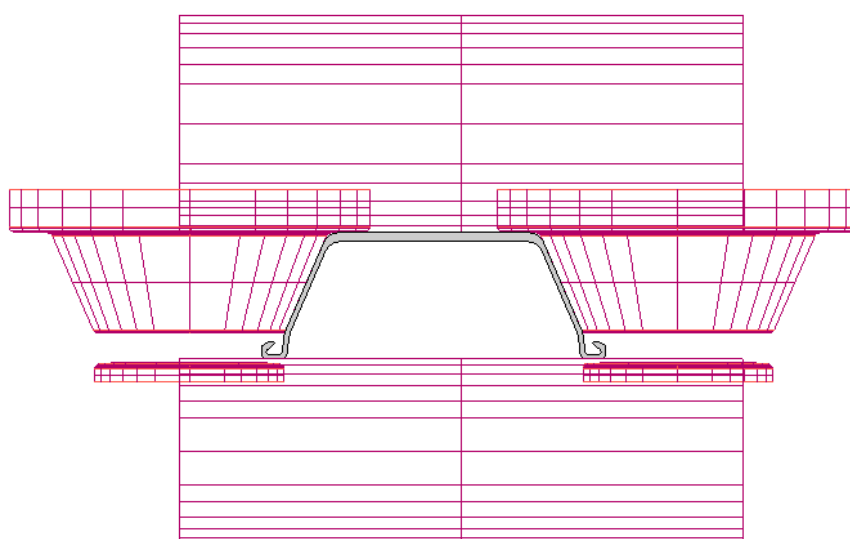


Obr. 5 Schéma varianty se středovým horizontálním válcem

V ose vertikálních válců je přidán třetí horizontální válec, který podpírá horní stěnu štetovnice a tím zabraňuje zkroucení profilu (obr. 5). Z důvodu vyosení štetovnice nemůže třetí horizontální válec podepírat horní stěnu v celé šířce, toto způsobuje deformaci horní plochy štetovnice o hranu středového válce.

Tato deformace je nevyhovující.

3.3 Varianta vertikálních válců s horním i dolním lemem

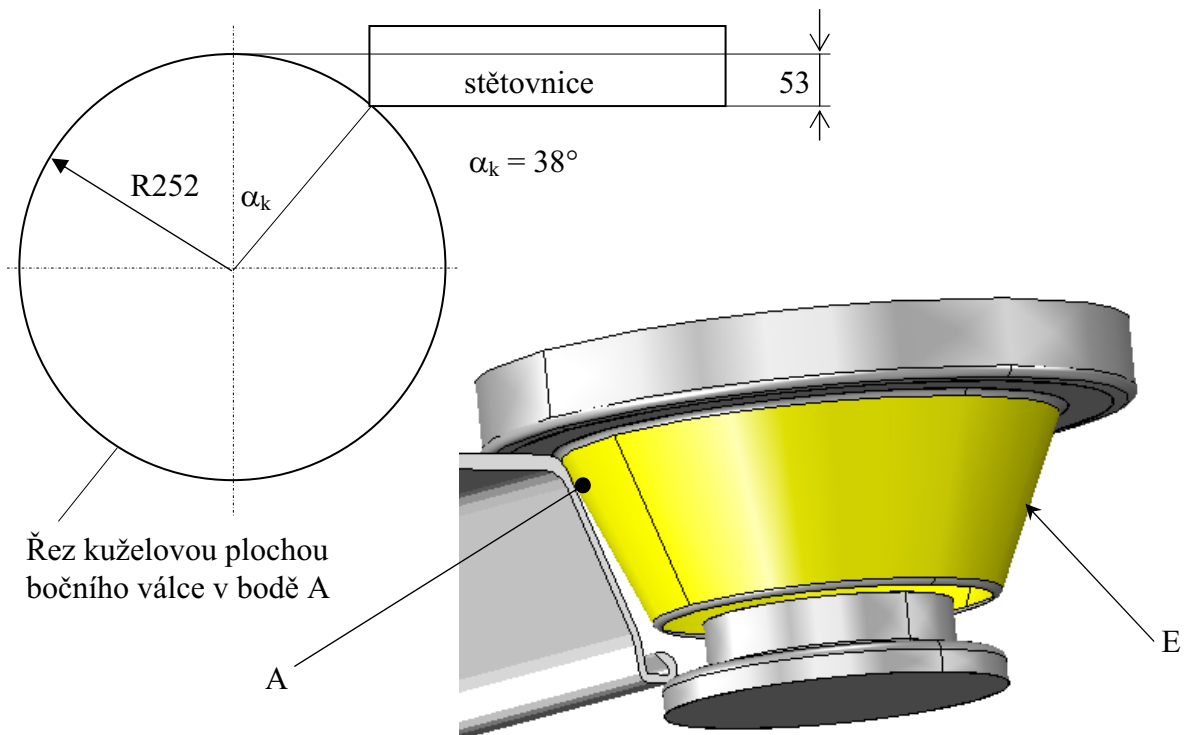


Obr. 6 Schéma varianty s horním a dolním lemem

K vertikální válcům je přidán dolní lem určený na opření štětovnice a tím zamezení její zkroucení (obr. 6). Z důvodu šikmé boční stěny štětovnice dochází při opření štětovnice o dolní lem k vzniku vodorovné síly, tato síla způsobuje roztažení boční stěny a tím její opření o dolní část kuželové plochy válce, což způsobuje nežádoucí deformaci boku štětovnice.

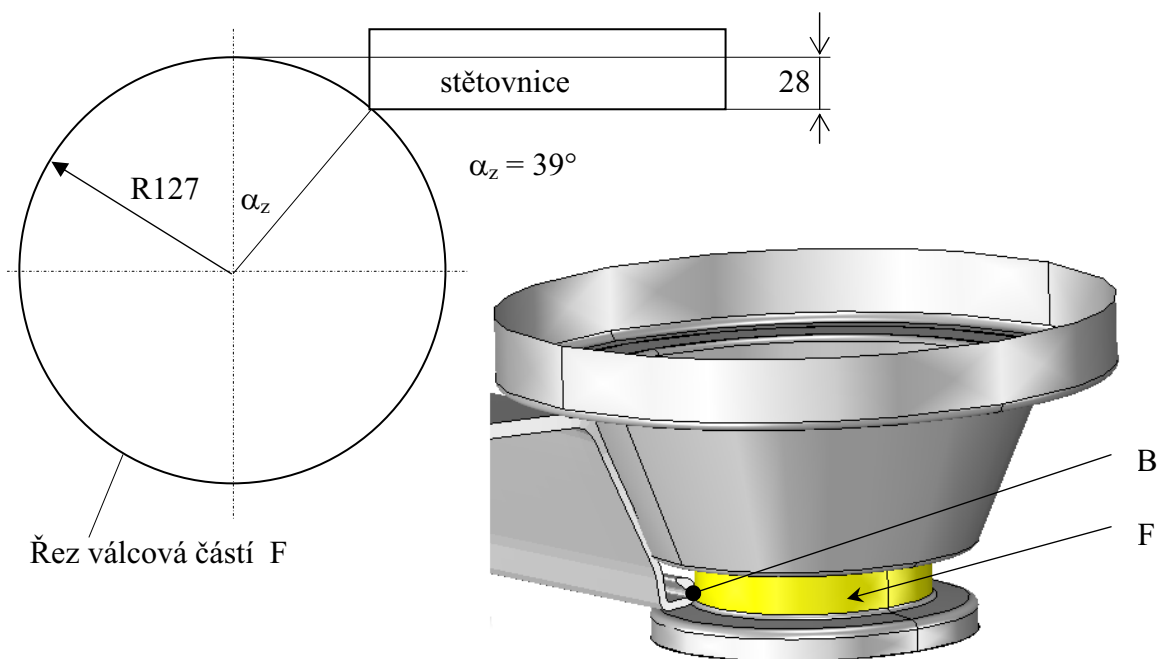
3.4 Varianta vertikálních válců s dolním lem a svislým válcem

Úhel α_k v okamžiku nárazu boční plochy štětovnice v bodě A do kuželové plochy bočního válce E.



Obr. 7 Obrázek v okamžiku nárazu boční stěny štětovnice do válce

Úhel α_z v okamžiku nárazu boční plochy zámku B do svislé válcové části lemu F.



Obr. 8 Obrázek v okamžiku nárazu zámku štětovnice do válce

V této variantě je vertikální válec doplněn další válcovou plochou F (obr. 7 a 8), tato plocha slouží k opření zámku v horizontálním směru a tím k zamezení deformace boční plochy štětovnice.

Kontakt štětovnice s dolní hranou kuželového válce je nežádoucí, z tohoto důvodu je kuželový válec v dolní části odlehčen, aby kontakt štětovnice s kuželovým válcem byl pouze cca 45 mm od horního hrany kuželového válce. Rovnání štětovnice proběhlo bez výrazných nežádoucích plastických deformací profilu. Je tu ještě obava nárazu boční plochy zámku do válcové části vertikálního válce F (obr. 8).

Snížení náraz se docílí zvětšením celého vertikálního válce. Poloměr kuželové plochy E v bodě A je zvětšen z 252 na 294 mm, poloměr svislého válce F je zvětšen z 127 na 172mm.

Toto zvětšení válce sníží úhel nárazu α_k boční plochy štětovnice v bodě A z 38° na 35° a úhel nárazu α_z v bodě B s válcovou plochou F z 39° na 33° .

4. Porovnání a vyhodnocení jednotlivých variant

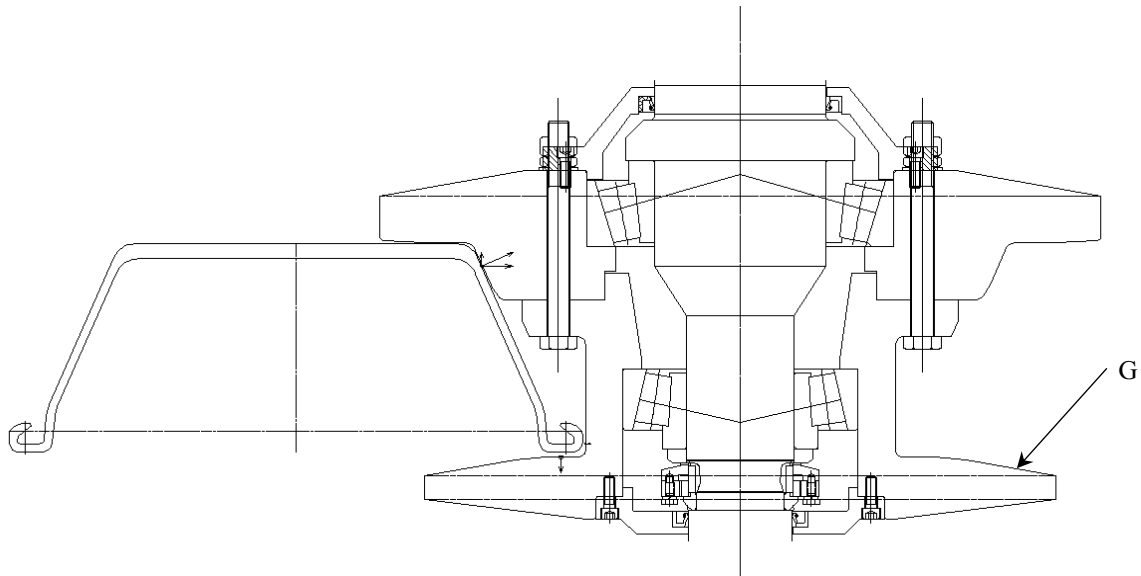
Všechny varianty jsou modelovány při maximálním vyosení vertikálních válců ~ 50 mm.

Varianta 3.1 – z důvodu zkroucení a naražení do horního válce pod úhlem cca 70° je nepoužitelná.

Varianta 3.2 – z důvodu prohnutí horní stěny štětovnice o přidaný hor.válec je nepoužitelná.

Varianta 3.3 – z důvodu promáčknutí boční stěny o vertikální válec je nepoužitelná.

Varianta 3.4 – minimální deformace začátku štetovnice, pouze obava z nárazu zámku do svislého válce F, toto je odstraněno zvětšením všech průměrů vertikálního válce a tím i průměru svislého válce, průměru horního a spodního lemu.



Obr. 9 Schéma varianty s děleným válcem 3.4-a

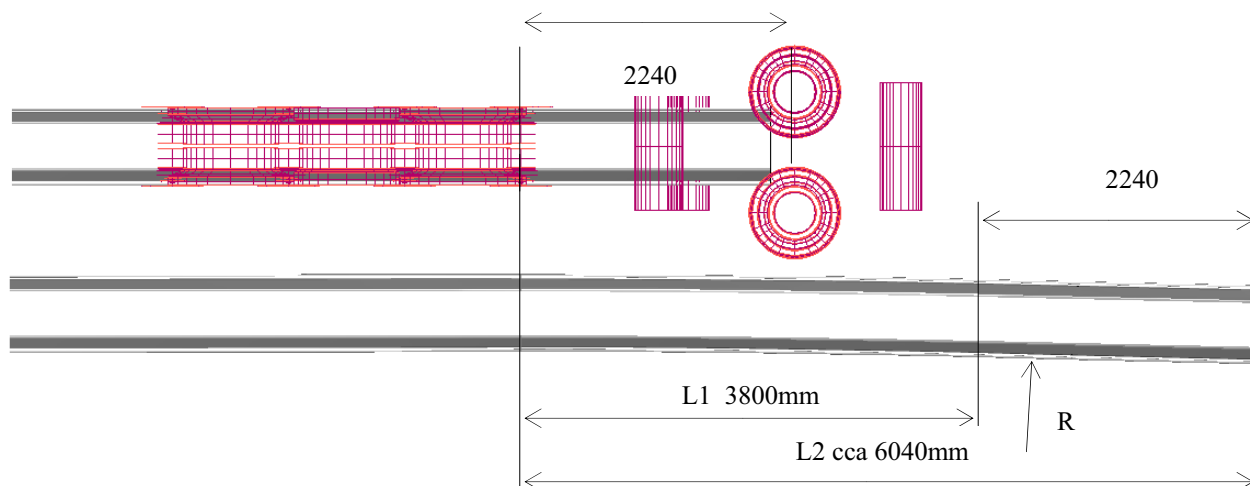
Na snížení tření je horní i spodní lem opatřen náběhovým kuzelem s úhlem 10° (na obrázku č. 9 označen G). Z důvodu rozdílných obvodových rychlostí horní a spodní části válce a tím i většího opotřebení spodní části válce je válec rozdělen na dvě části. Spodní část válce je možné použít pro všechny typy štetovnic. Horní část válce musí být vždy pro příslušný úhel boční stěny štetovnice. Tato varianta 3.4-a je na obr. 9.

5. Simulace průchodu profilu VL606 výstupním stolem varianta 3.4-a

Deformovaný tvar profilu způsobený průchodem mezi vyosenými válci 50 mm. Pro posouzení křivosti byla provedena náhrada boční křivky deformovaného profilu kruhovým obloukem.

V uvedeném uspořádání výstupního stolu je profil rovnán až od délky 2240 mm, což odpovídá vzdálenosti bočních válců od posledního válce rovnačky.

Tato skutečnost má vliv i na přesnost náhrady boční křivky profilu kruhovým obloukem. Úsek L1 (rovnaná část), maximální odchylka 1,1 mm. Úsek L2 (rovnaná i nerovnaná část) maximální odchylka 2,4 mm.



Obr. 10 Schéma varianty 3.4-a

Náhrada boční křivky profilu je provedena na dvou jeho částech.
Na úseku L1 - rovnaná část, a na úseku L2 - rovnaná a nerovnaná část společně.

Poloměr kruhového oblouku na boční ploše zámku:

- úsek L1 $R_{L1} = 186203$ mm (max. odchylka 1,1 mm)
- úsek L2 $R_{L2} = 246773$ mm (max. odchylka 2,4 mm)

Pro informaci jsou uvedeny hodnoty odchylky kruhového oblouku od úsečky (pravítka) délky 1000 až 21000 mm v tab.1.

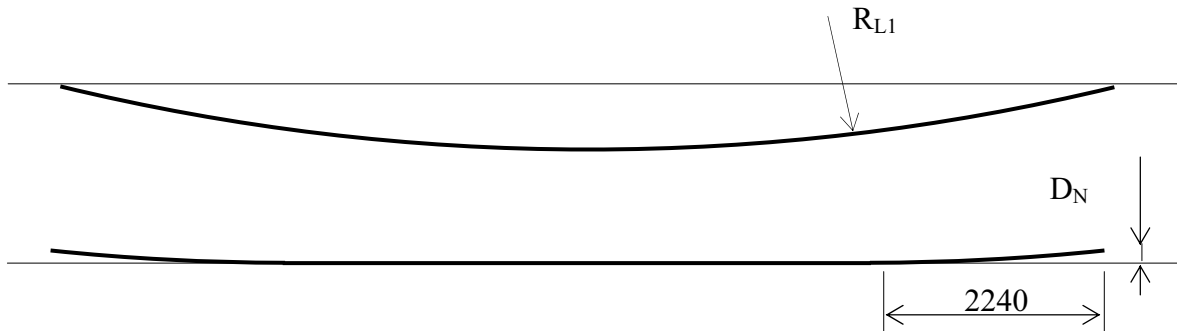
Na základě velikosti poloměru R_{L1} je možné stanovit závislost velikosti průhybu profilu na jeho délce. Profil s tímto průhybem lze srovnat.

Tabulka 1

Úsek L1			
Boční plocha zámku		Boční plocha štětovnice	
$R_{L1} = 186203$ mm		$R_{L1} = 179602$ mm	
Délka [mm]	Průhyb [mm]	Délka [mm]	Průhyb [mm]
1000	0.7	1000	0.7
2000	2.7	2000	2.8
3000	6.0	3000	6.3
4000	10.7	4000	11.1
5000	16.8	5000	17.4
10000	67.1	10000	69.6
20000	268.7	20000	278.6
21000	296.3	21000	307.2

Z uvedených výsledků je zřejmé, že deformace boční plochy zámku jsou prakticky shodné s boční plochou štětovnice ("stejně rovnáno"). Negativní vliv na kvalitu rovnání má nerovnaná část profilu o délce cca 2240 mm. Pro informaci, při poloměru zakřivení boční

plochy zámku $R_{L1} = 186203 \text{ mm}$ je po srovnání "průhyb" nerovnaných částí cca $D_N = 13.5 \text{ mm}$ (obrázek 11).



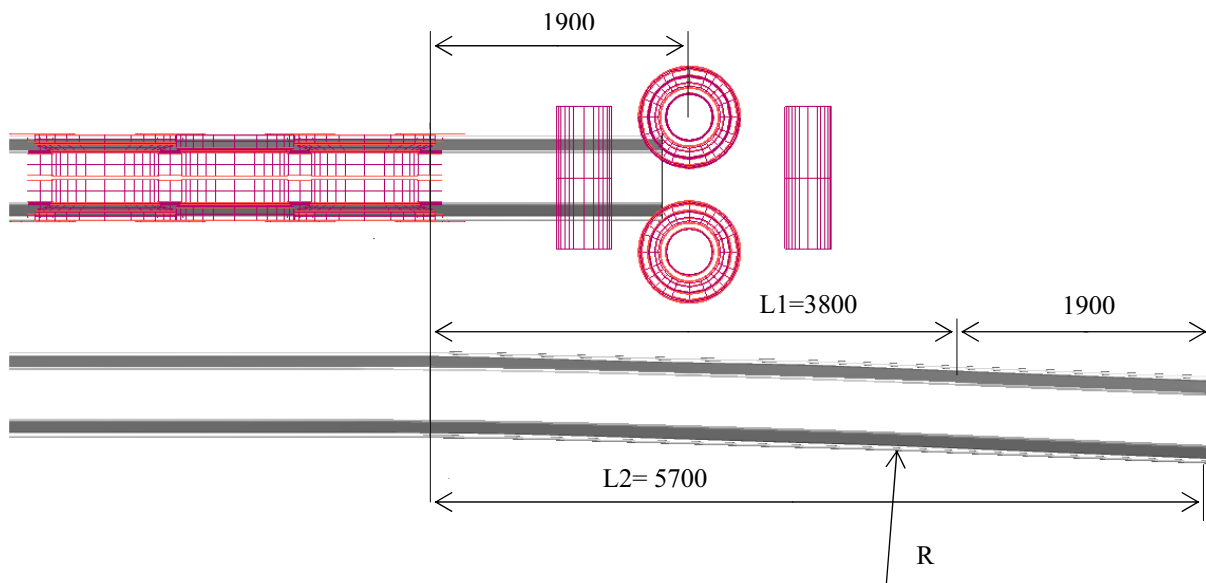
Obr. 11 Schéma nahrazení štětovnice křivkou (varianta 3.4-a)

Vzhledem k těmto výsledkům byly provedeny další výpočty pro změněné uspořádání výstupního stolu. Horizontální válec na vstupu výstupního stolu byl odstraněn a výstupní stůl byl přisunut blíže k rovnačce (obr.12, varianta 3.4-b). Uspořádání zbývajících válců na výstupním stole je stejné jako varianta 3.4-a (obr.10).

Řešení tohoto upraveného uspořádání bylo provedeno pro různé velikosti vyosení bočních válců v intervalu 30 až 50 mm .

- varianta 3.4-b-50 vyosení bočních válců 50 mm
- varianta 3.4-b-40 vyosení bočních válců 40 mm
- varianta 3.4-b-30 vyosení bočních válců 30 mm

Podobně jako pro původní uspořádání (varianta 3.4-a) je provedena náhrada boční křivky profilu kruhovým obloukem na úseku délky $L1$.



Obr. 12 Schéma varianty 3.4-b

Na základě velikosti poloměru R_{L1} je možné stanovit závislost velikosti průhybu profilu na jeho délce. Profil s tímto průhybem lze srovnat.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2

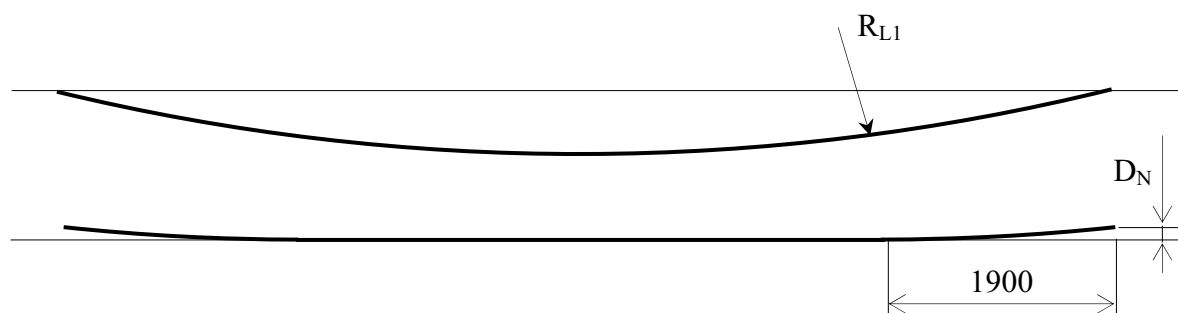
Úsek L1						
Varianta	3.4-b-50		3.4-b-40		3.4-b-30	
Vyosení	50 mm		40 mm		30 mm	
Poloha	zámek	boční pl.	zámek	boční pl.	zámek	boční pl.
R_{L1}	109686	133010	157737	198475	235005	383792
Délka [mm]	Průhyb [mm]					
1000	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.3
2000	4.6	3.8	3.2	2.5	2.1	1.3
3000	10.3	8.5	7.1	5.7	4.8	2.9
4000	18.2	15.0	12.7	10.0	8.5	5.2
5000	28.5	23.5	19.8	15.7	13.3	8.1
10000	114.0	94.0	79.3	63.0	53.2	32.6
20000	456.8	376.4	317.3	252.1	212.9	130.3
21000	503.7	415.1	349.9	277.9	234.7	143.7

Z uvedených výsledků je zřejmý významný vliv zkrácení ohýbané délky profilu na průhyb profilu. Při vyosení bočních válců o 50 mm je průhyb boční plochy zámku délky 21000 mm:

- varianta 3.4-a 296.3 mm (vzdálenost vertikálních válců od rovnačky 2240mm)
- varianta 3.4-b 503.7 mm (vzdálenost vertikálních válců od rovnačky 1900mm)

Podobně jako u původního uspořádání má na kvalitu rovnání negativní vliv nerovnaná část profilu o délce cca 1900 mm.

Pro informaci, při poloměru zakřivení boční plochy zámku $R_{L1} = 186203$ mm je po srovnání "průhyb" nerovnaných částí cca $D_N = 9.7$ mm (obr. 12).



Obr. 12 Schéma náhrady štětovnice křivkou (varinta 3.4-b)

Průhyb nerovnaných částí varianty 3.4-b-50 je o 3,8 mm menší než u varianty 3.4-a.

6. Závěr výpočtového modelování

Na základě provedených výpočtů je možné doporučit geometrické uspořádání řešené ve variantě 3.4-a (3.4-b), případně uspořádání řešené ve variantách 3.4-b-50, 3.4-b-40, 3.4-b-30.

Použití geometrického uspořádání dle varianty 3.4-b-50 vede ke snížení zbytkové křivosti po rovnání o 28 %. Toto uspořádání je velmi citlivé na přesnost zavedení profilu z rovnačky mezi vertikální válce výstupního stolu, proto musí být válce opatřeny náběhovými deskami pro navedení štětovnice směřující pod osu rovnání, což by způsobilo náraz profilu do dolního lemu vertikálních válců a k destrukci zařízení. Pokud profil směřuje nahoru, je nasměrován horním vyváděcím válcem.

7. Závěr

S využitím výpočtového modelování bylo navrženo a vyhodnoceno devět variant uspořádání válců a jejich tvarů. Při zavedení štětovnice do maximálně vyosených vertikálních válců (50mm), při dodržení minimální deformace začátku štětovnice, vyšla varianta 3.4-b. Při této variantě jsou vertikální válce vzdálené od posledního horizontálního válce rovnačky 1900 mm. Z tohoto uspořádání rovnačky a výstupního stolu bude nerovnaný začátek štětovnice rovněž 1900 mm. Nerovnaný konec štětovnice bude dle současného uspořádání horizontálních válců v rovnačce, to je 950 mm.