



United States Steel Corporation

VÝSKUM FAKTOROV OVPLYVNĽUJÚCICH VLASTNOSTI ROVINNOSTI ZA TEPLA VALCOVANÝCH PÁSOV VYBRANÝCH AKOSTÍ



Ing. Peter PRISLUPČÁK, PhD.

Ocelové pásy, Košice 15.10.2024

VZDELANIE

PhD., TUKE - FMMR
Náuka o materiáloch
(2018 - 2023)



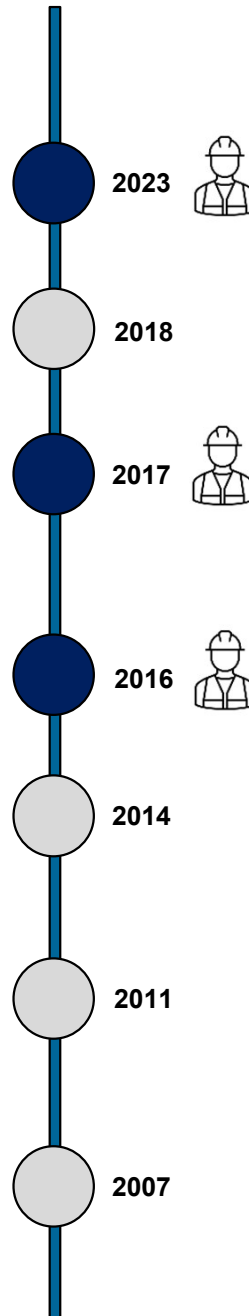
Ing., TUKE - HF
Tvárnenie materiálov
(2014 - 2016)



Bc., TUKE - HF
Hutníctvo železa a ocele
(2011 - 2014)



Gymnázium Exnárova, KE
(2007 - 2011)



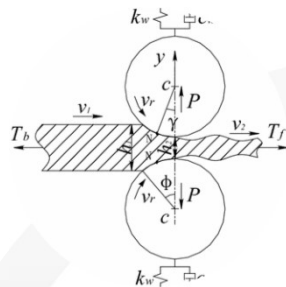
PRACOVNÉ SKÚSENOSTI

Developer
IT odd., **USSK**
(2023 -)

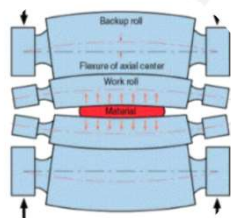
Výskumník a vývojár
Výskum a vývoj, **USSK**
(2017 - 2023)

Procesný inžinier
TŠP, **ArcelorMittal – Ostrava**
(2016 - 2017)

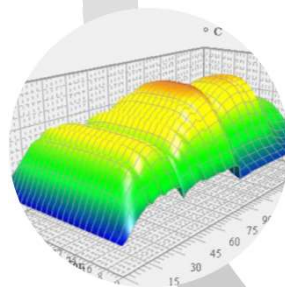
Faktory ovplyvňujúce vývoj priečného profilu a rovinnosť TVA pásov



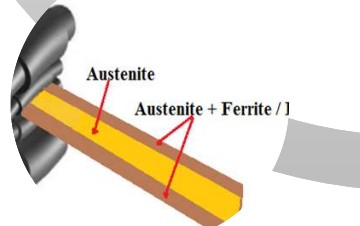
Vplyv kadencie valcovania na vývoj priečného profilu - obalová kampaň



Simulátor rovinnosti a priečného profilu WinRollSim



Zmena rovinnosti po dovalcovaní pásov za HP - akosť S355MC



Vlnitosť pásu je iniciovaná pri zväčšenej nerovnomernosti pozdĺžnych tlakových napätí po šírke pásu.

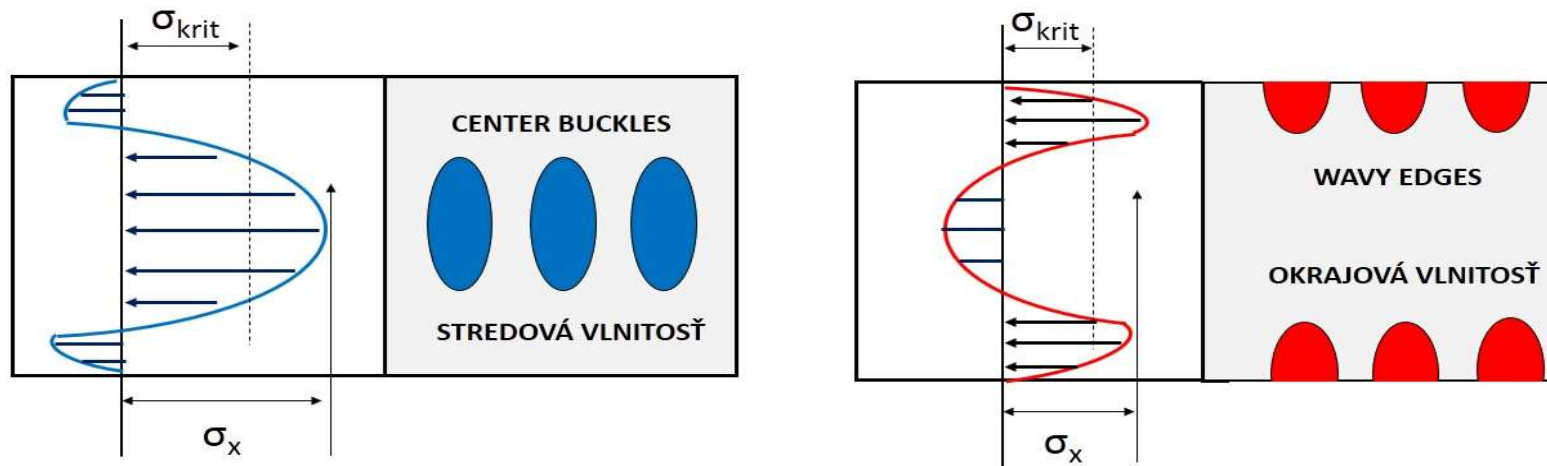
Ak **súčet tlakových napätí v strede šírky pásu** $> \sigma_{krit}$ = **stredová vlnitosť**.

Ak **súčet tlakových napätí na okraji šírky pásu** $> \sigma_{krit}$ = **okrajová vlnitosť**.

Možný taktiež výskyt vlnitosti v tzv. $\frac{1}{4}$ šírky pásu.

Kritická tlaková napätosť (σ_{krit}) je funkciou:

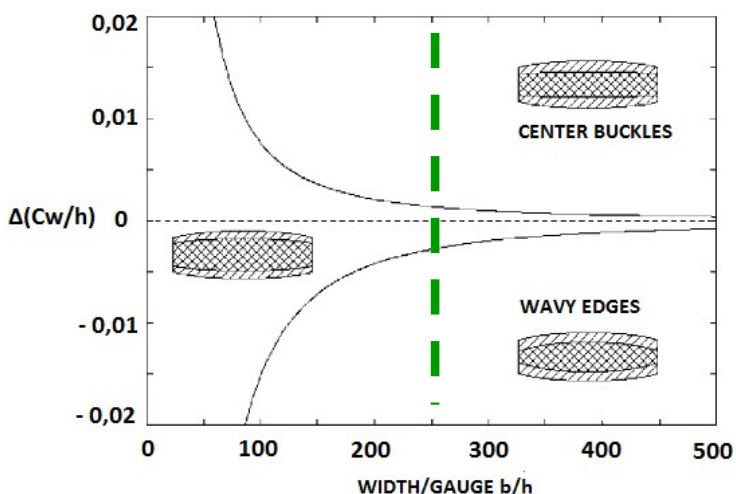
- **materiálových a mechanických** vlastností,
- **pomeru šírky a hrúbky pásu** v danej stolici resp. valcovacej štrbine,
- **miesta lokalizácie tlakových napätí** po šírke pásu.



Obr. 1 Vplyv tlakových napätí na iniciáciu vlnitosti

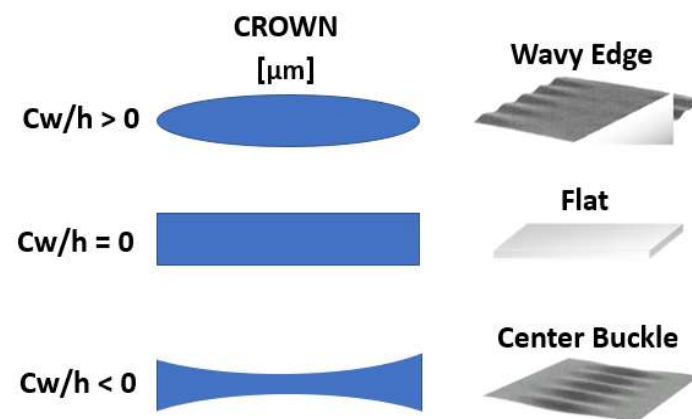
Rovinnosť a priečný profil sú vo vzájomnej interakcii → reguláciou priečného profilu dochádza k regulácii rovinnosti.

V prípade, ak platí závislosť $-80\left(\frac{h}{b}\right)_i^{1,86} < \left(\frac{Cr}{h}\right)_{i-1} - \left(\frac{Cr}{h}\right)_i + \varepsilon_r < 40\left(\frac{h}{b}\right)_i^{1,86}$ bude vyvalcovaný pas bez rovinnostného defektu.



Obr. 2 Rovinnostný kužeľ

- $\left(\frac{Cr}{h}\right)_{i-1}$ pomer vypuklosti k hrúbke pásu na vstupe do valcovacej medzery
- $\left(\frac{Cr}{h}\right)_i$ pomer vypuklosti k hrúbke pásu na výstupe z valcovacej medzery
- ε_r zvyškové napätie
- $\left(\frac{h}{b}\right)_i$ pomer hrúbky pásu k šírke na výstupe z valcovacej medzery



Obr. 3 Vplyv vypuklosti priečného profilu na vlnitosť

Na základe Obr. 2, potreba **regulovať vypuklosť priečného profilu do pásma $b/h \leq 250$** , v opačnom prípade môže aj malá snaha o zmenu priečného profilu iniciovať okrajovú alebo stredovú vlnitosť.

Tab. 1 Rozmery pásu v jednotlivých stoliaciach HP – TŠP 1700: Akosť S235JR, rozmer: 3,30 x 1530 mm

	H0	H6	H7	H8	H9	H10	H11
Šírka / Width (b)	1530	1530	1530	1530	1530	1530	1530
Hrúbka / Gauge (h)	19,01	11,64	7,78	5,59	4,39	3,73	3,30
b/h	80	131	196	273	348	410	465

TECHNOLÓGIA VALCOVANIA

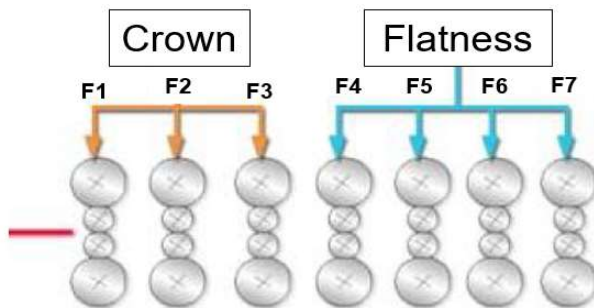
Valcovacia štrbina

- Priehyb valcov
- Valcovacia sila
- Výbrus pracovných valcov
- Opotrebenie pracovných valcov
- Termická balicita pracovných valcov

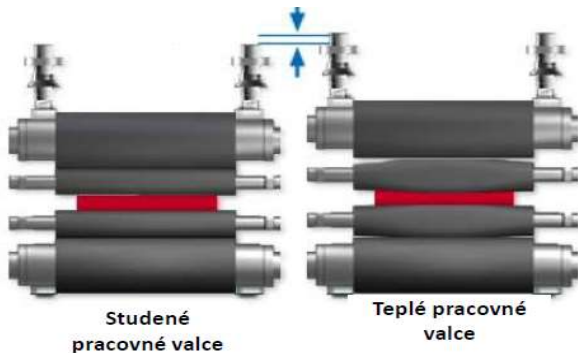
Logistické plánovanie

Kadencia valcovania

Úberový plán



Obr. 4 Regulácia rovinnosti a priečného profilu

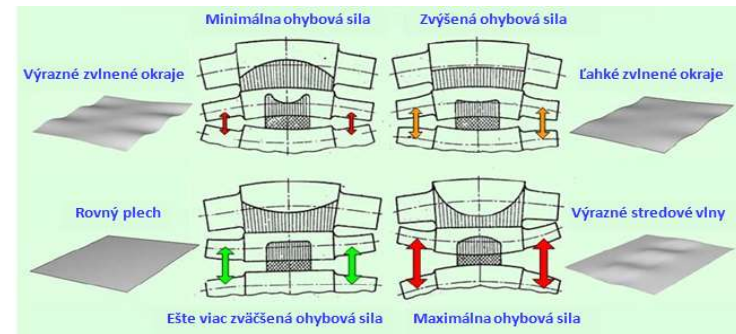


Obr. 5 Termická balicita pracovných valcov

ODPORÚČANÉ ZARIADENIA PRE REGULÁCIU PROFILU A ROVINNOSTI

Protiohyb pracovných valcov

- pozitívny
- negatívny



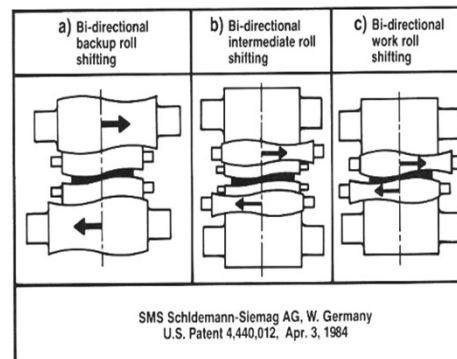
Obr. 6 Vplyv protiohybu PV na rovinnosť

Axiálny posun necylindrických valcov (CVC)

Axiálny posun necylindrických valcov (UPS)

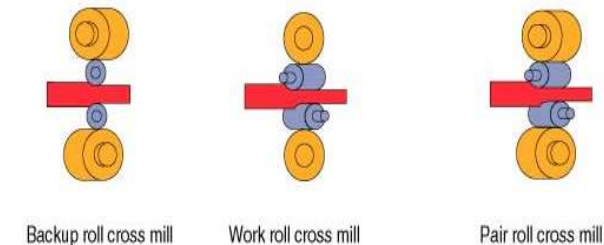
Axiálny posun cylindrických valcov

Križenie valcov



Obr. 7 CVC

Crossed roll 4-high rolling mill



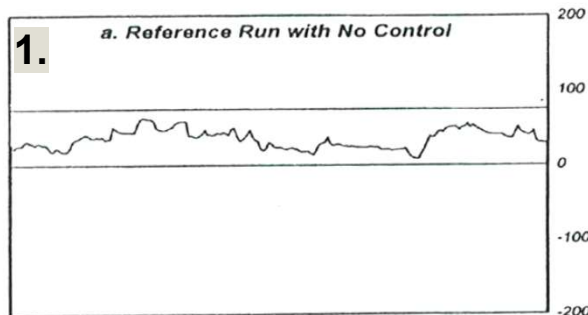
Obr. 8 Križenie valcov

Analyzované efektívne riadenie priečného profilu pri rôznych konfiguráciách TŠP. Využitý simulátor profilu a rovinnosti GE.

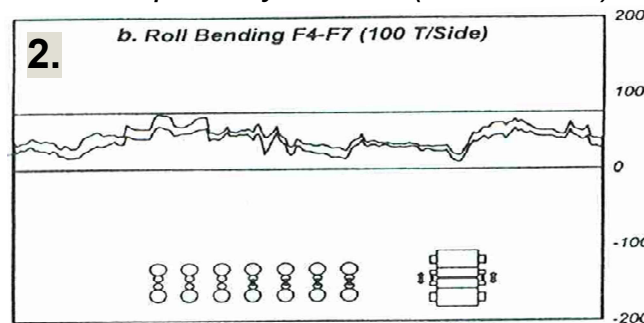
Najefektívnejšie riadenie priečného profilu dosiahnuté pri konfiguráciách TŠP:

- 5. CVC F2 - F4 a protiohyb F2 – F7 (150 T / stranu stojana),
- 3. Protiohyb F2 – F7 (150 T / stranu stojana).

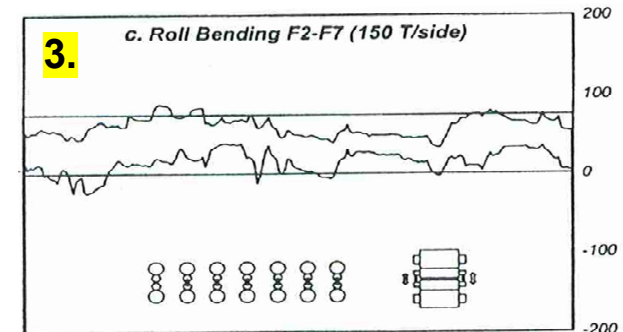
Bez regulácie priečného profilu



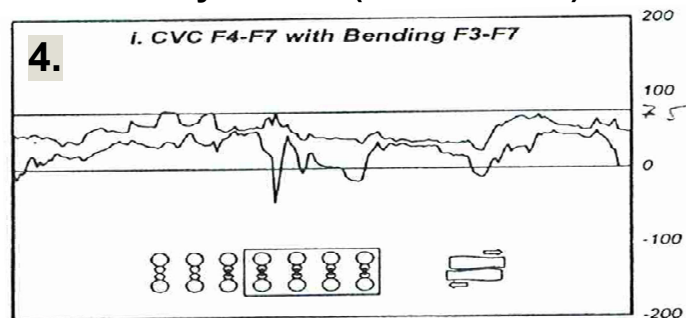
Protiohyb F4-F7 (100 T/stranu)
USSK – protiohyb F4-F7 (55 T/stranu)



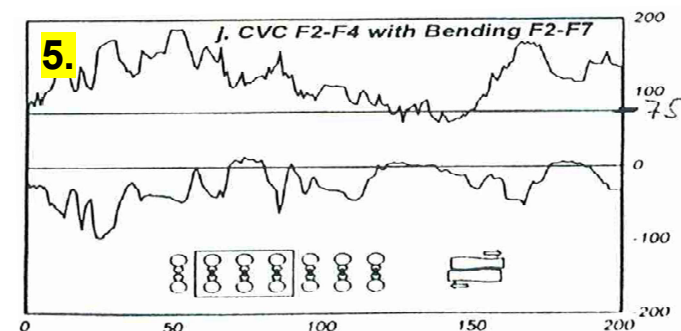
Protiohyb F2-F7 (150T /stranu)



CVC F4-F7
Protiohyb F3-F7 (150T /stranu)



CVC F2-F4
Protiohyb F2-F7 (150T /stranu)

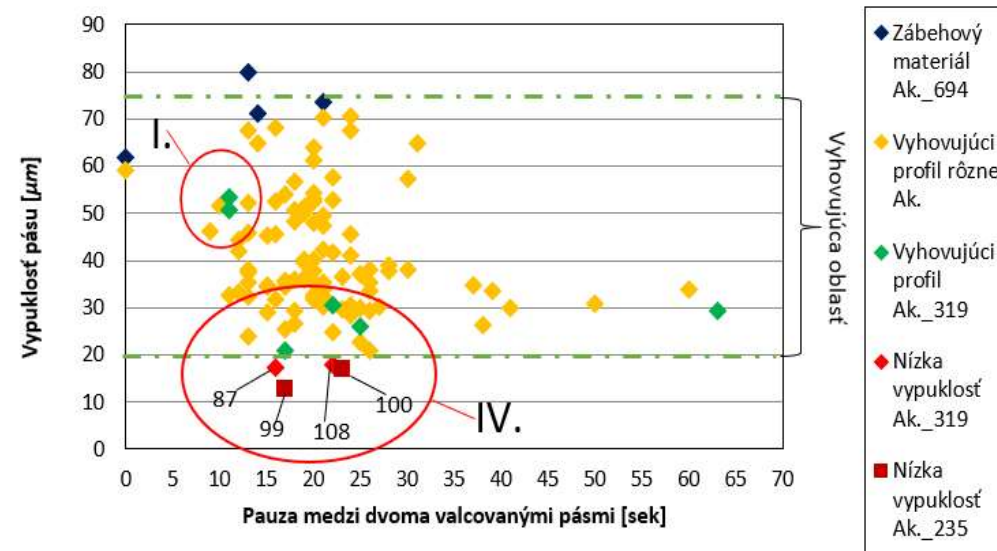
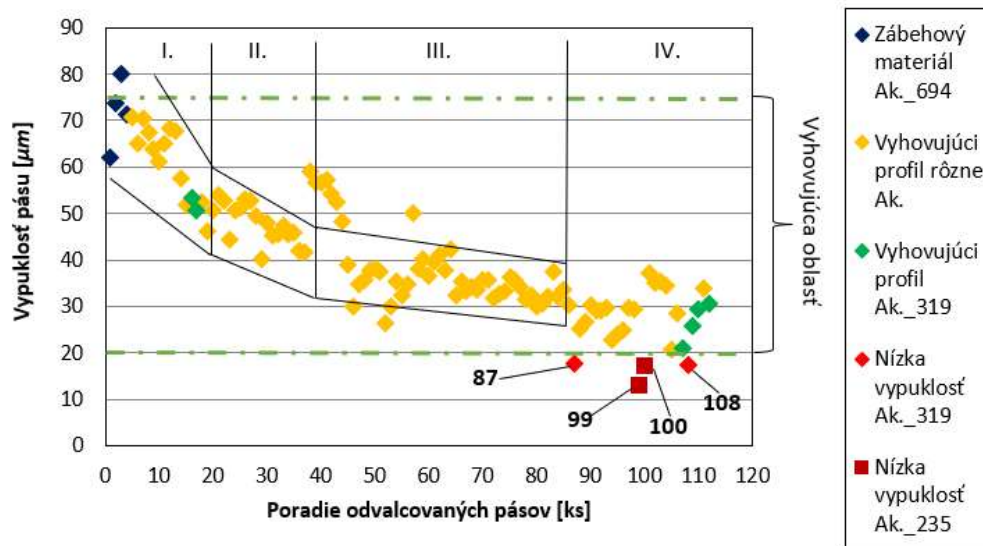


Analýza vplyvu kadencia valcovania resp. „pauzy H0“ na vypuklosť priečného profilu – obalová kampaň.

S nárastom počtu odvalcovaných pásov **klesá vypuklosť priečného profilu**.

- I. zóna: **najvýraznejší pokles** vypuklosti priečného profilu **72 – 45 μm**, výbrus PV a zábeh PV na prac. teplotu,
- II. a III. zóna: miernejší pokles vypuklosti priečného profilu,
- IV. zóna: záver valcovacej kampane, v štyroch prípadoch pokles vypuklosti priečného profilu pod 20 μm.

Vplyv zmeny času „pauzy H0“ nepreukázal jednoznačnú závislosť na výslednú vypuklosť priečného profilu.

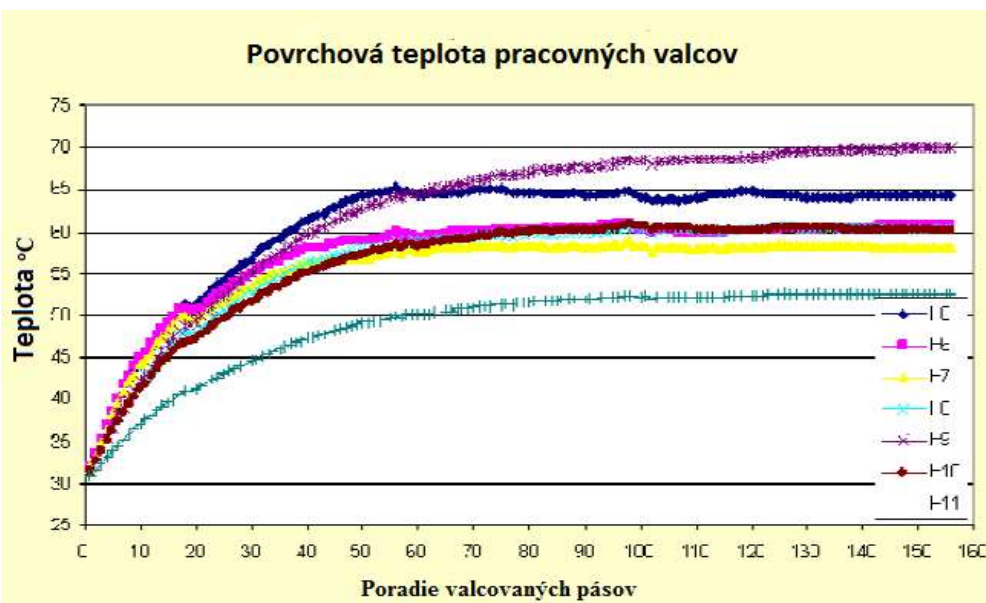


Obr. 9 Vývoj vypuklosti priečného profilu v závislosti na počte odvalc. pásov

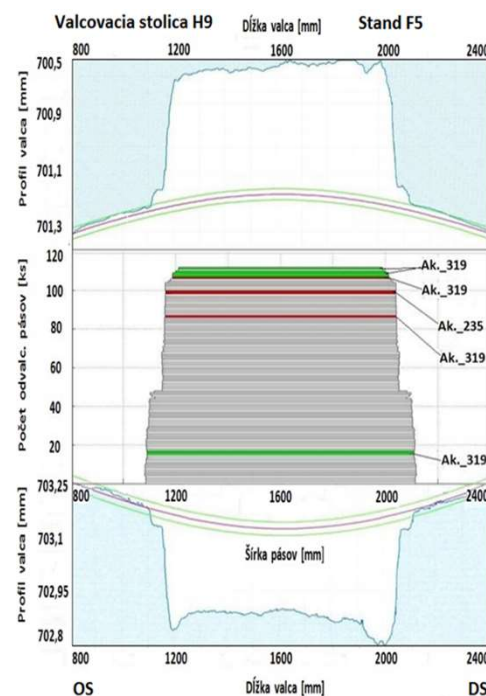
Obr. 10 Vývoj vypuklosti priečného profilu v závislosti na kadencii valcovania

S využitím simulátora rovinnosti a priečného profilu **WinRollSim** USS predikovaná zmena teploty pracovných valcov, v závislosti na počte odvalcovaných pásov.
Výrazný nárast teploty PV do 30 – 40 odvalcovaných pásov.

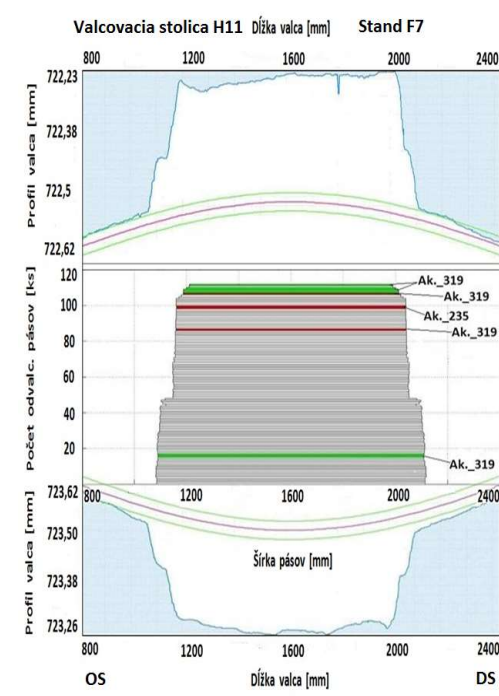
Opotrebenie PV vo vzťahu k odvalcovanému sortimentu Obr. 12 a Obr. 13.
 Na základe analýzy potvrdený **väčší vplyv opotrebenia PV na vývoj priečného profilu v porovnaní s kadenciou valcovania** a to najmä po 30. odvalcovanom páse.



Obr. 11 Povrchová teplota PV, WinRollSim



Obr. 12 Opotrebenie PV, H9

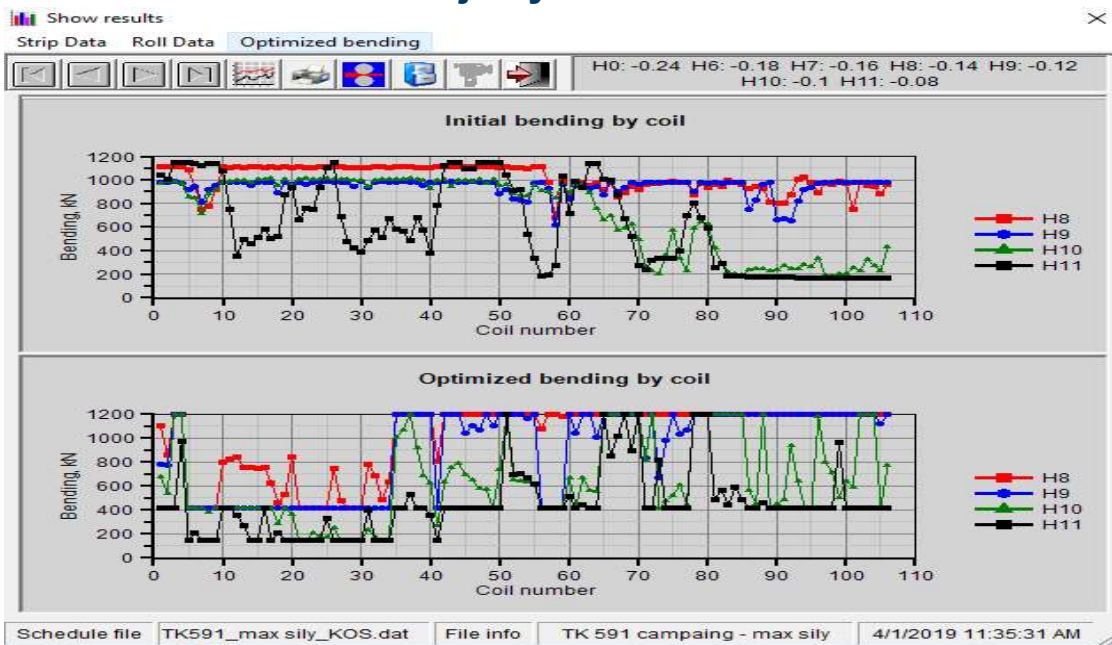


Obr. 13 Opotrebenie PV, H11

Simulátor rovinnosti a priečného profilu **WinRollSim** vyvinutý v R&D USS Munhall, USA, autor: Dr. E. Nikitenko. **Update simulátora pre potreby TŠP - USSK v roku 2019**, v rámci výskumného projektu V451 R&D USSK.

Simulátor **WinRollSim** umožňuje:

- Výpočet **optimálnych protiohybových síl** pre dosiahnutia žiadanej rovinnosti,
- Predikciu zmeny **vypuklosti profilu a rovinnosti** v jednotlivých stoliaciach HP,
- Predikciu **povrchovej teploty valcov a termálnej balicity valcov**,
- Predikciu **priehybu a sploštenia valcov**,
- Predikciu **opotrebenia valcov**,
- Predikciu **kontaktnej sily medzi PV a OP**.



Obr. 14 Povrchová teplota PV, WinRollSim

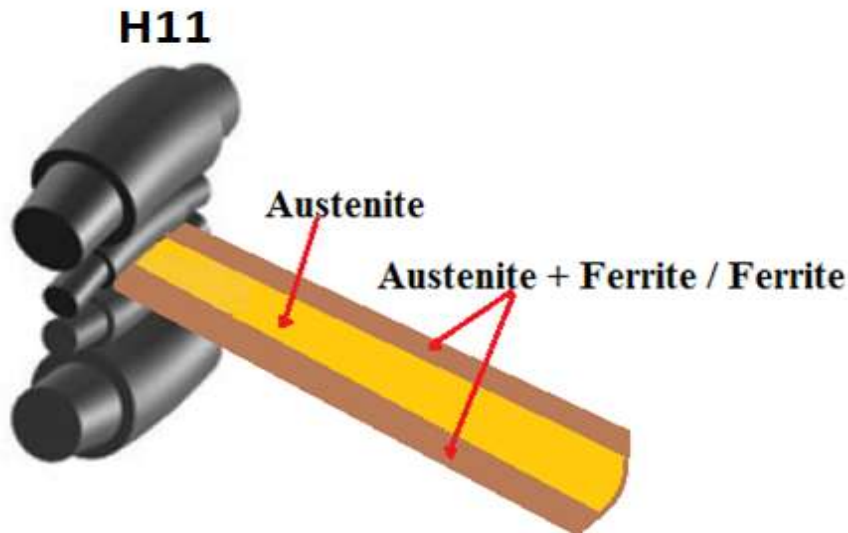


Obr. 15 Opotrebenie PV, H9

Napriek **dovalcovaniu TVa pásov s vyhovujúcou rovinnosťou** (symetrická rovinnosť = 0 [I]) reklamovaná nevyhovujúca rovinnosť pásov – **okrajová vlnitosť**.

Zhoršenie rovinnosti po dovalcovaní v HP:

Počas dovalcovania v H11 a následného chladenia v LCH dochádza **vplyvom rýchlejšieho poklesu teplôt** na okraji pásov po šírke **k nerovnomernej transformácii (austenit/ferit)**, s následným iniciovaním objemových zmien a pnutí.



Obr. 16 Dovalcovanie pásu v H11

Možnosti potlačenia tohto negatívneho javu:

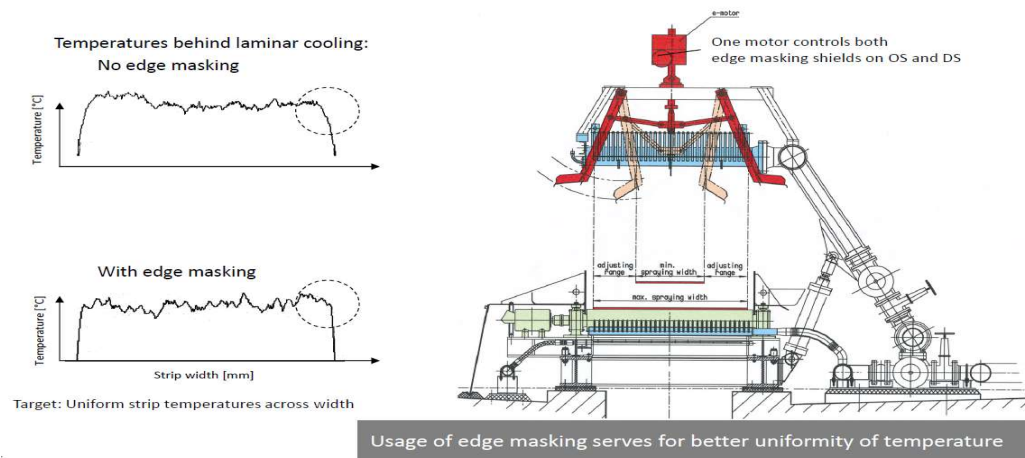
Inštalácia zariadenia na reguláciu množstva vody po šírke pásu v úseku LCH, napr. Edge Masking System (fy. SMS).

... alebo

Dovalcovanie pásov s **miernou stredovou vlnitosťou**.

Edge masking system for laminar strip cooling

SMS group



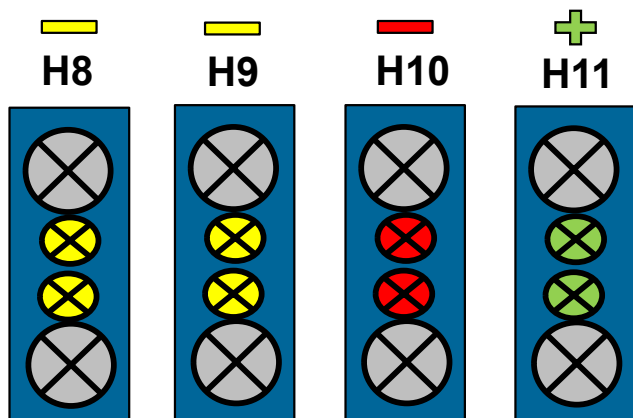
Obr. 17 Edge masking system, SMS

Iniciácia miernej stredovej vlnitosti v automatickom režime – Shape model

Zníženie kapacity protiohybu PV na H8 - H10.

Využitie max. kapacity protiohybu PV na H11.

Cieľom je dosiahnuť **nárast vypuklosti priečného profilu** pásu vo valcovacej stolici **H10**.



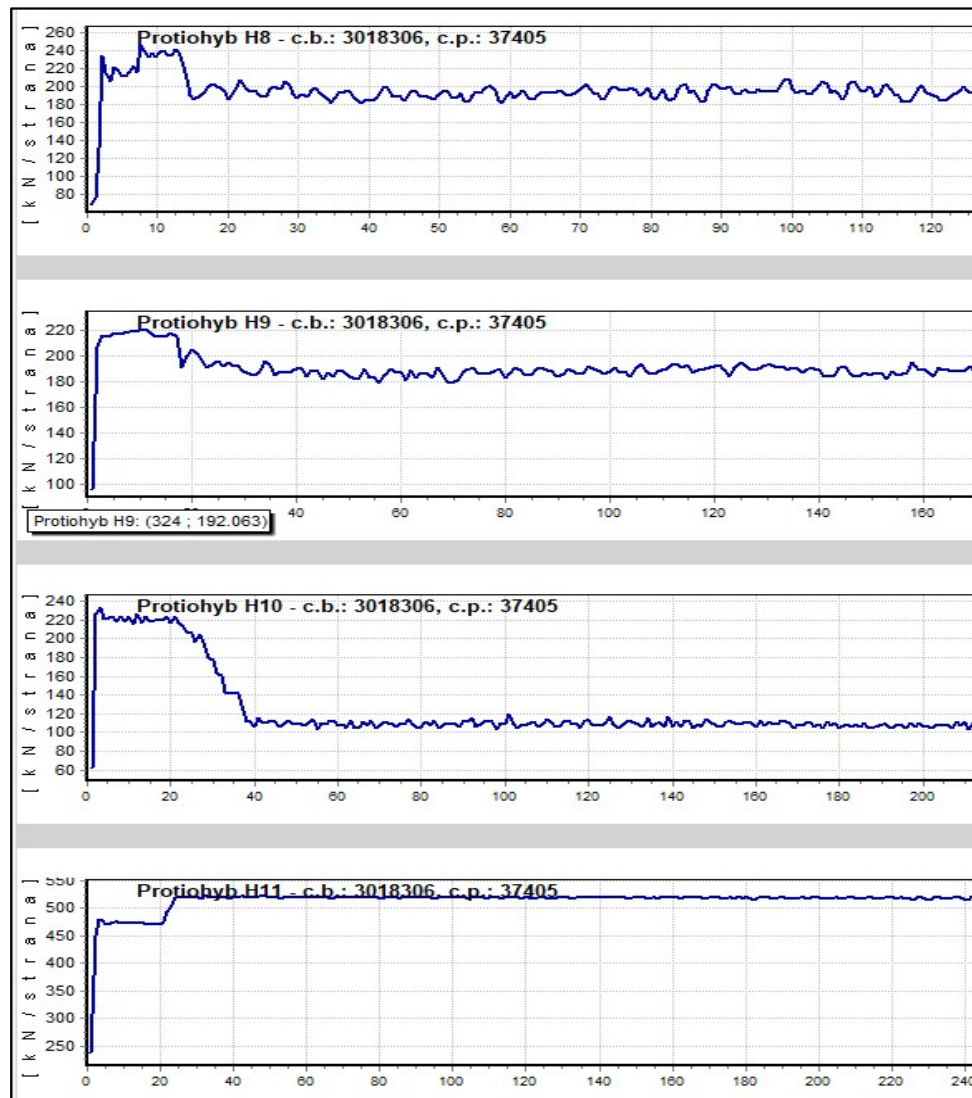
Obr. 18 Valcovacie stolice HP, H8 – H11

H8

H9

H10

H11



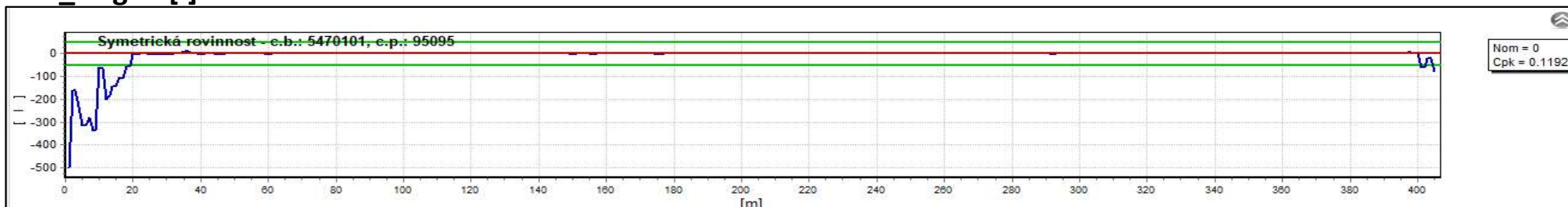
Obr. 19 Využitie kapacity protiohybu PV

V rámci prevádzkových skúšok v Shape modeli žiadaná symetrická rovinnosť:

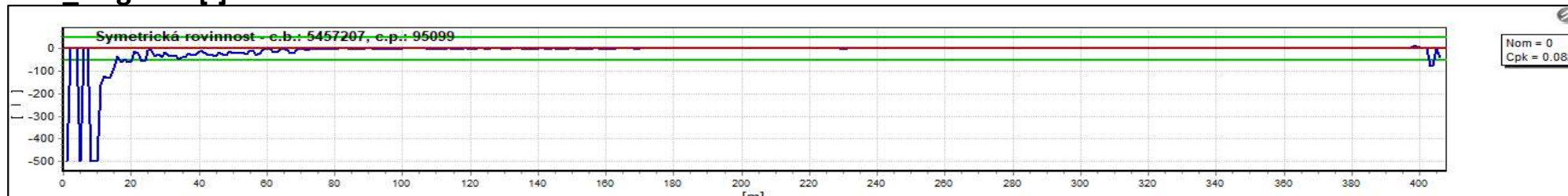
- 0 [I],
- - 30 [I],
- - 50 [I],

s cieľom dovalcovať pásy za H11 s miernou stredovou vlnitosťou.

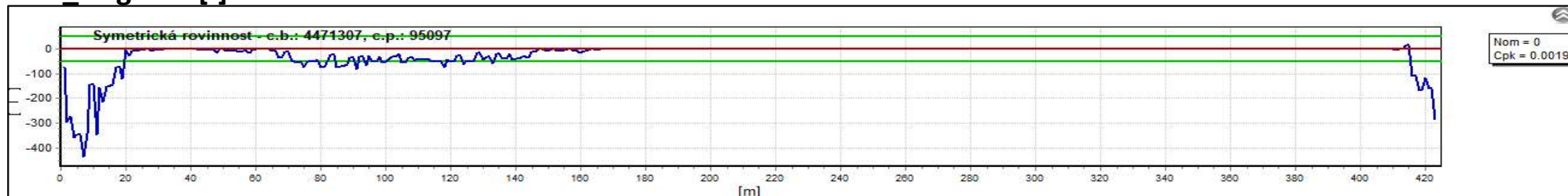
Flat_targ= 0[I]



Flat_targ= -30[I]



Flat_targ= -50[I]



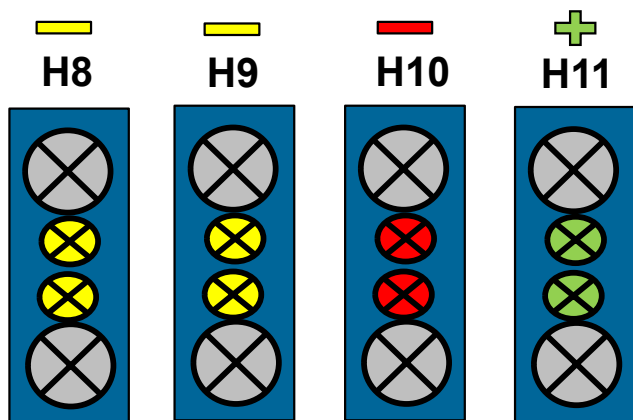
Obr. 20 Symetrická rovinnosť po dĺžke pásu

Využitie kapacity protiohybu pracovných valcov v stolici H11.

Žiadaná **symetrická rovinnosť** = 0 [I] → **kapacita protiohybu PV** v stolici H11 na úrovni cca **100 kN**/stranu stojana.

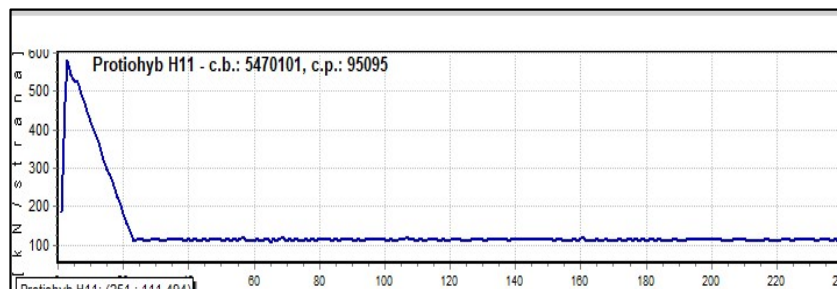
Žiadaná **symetrická rovinnosť** = - 30 [I] → **kapacita protiohybu PV** v stolici H11 na úrovni cca **300 kN**/stranu stojana.

Žiadaná **symetrická rovinnosť** = - 50 [I] → **kapacita protiohybu PV** v stolici H11 na úrovni cca **330 kN**/stranu stojana.

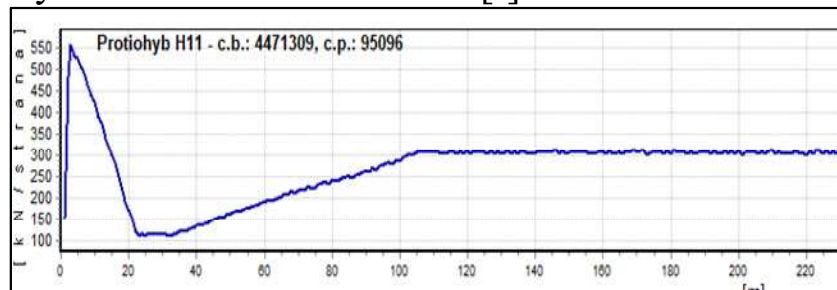


Obr. 21 Valcovacie stolice HP, H8 – H11

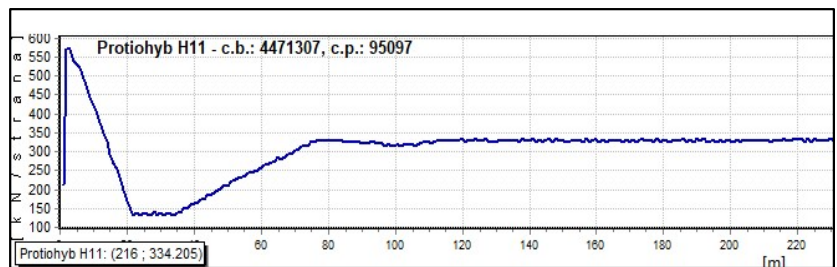
Symetrická rovinnosť = 0 [I]



Symetrická rovinnosť = -30 [I]



Symetrická rovinnosť = -50 [I]



Obr. 22 Využitie kapacity protiohybu PV, H11

Meranie **rovinnosti pásu a vnútorných pnutí** po rozvinutí zvitku.

Meranie rovinnosti pásu a vnútorných pnutí po rozvinutí zvitku na TDL a u kooperanta. Princíp merania rovinnosti a vnútorných pnutí zobrazený na Obr. 23 a Obr. 24.

Priaznivejšie výsledky po meraní rovinnosti a vnútorných pnutí **na pásoch dovalcovaných s miernou stredovou vlnitosťou - 30 [I] až - 50 [I].**

Menej priaznivý výsledok nameraný **na páse dovalcovanom so symetrickou rovinnosťou = 0 [I].**



Obr. 23 Princíp merania rovinnosti



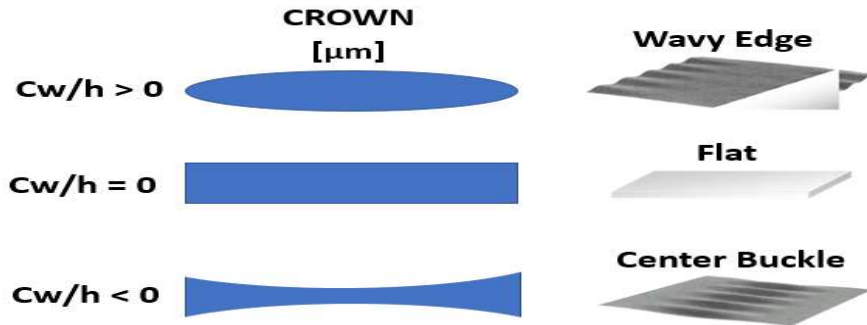
Obr. 24 Princíp merania vnútorných pnutí

Tab. 1 Namerané hodnoty rovinnosti/vlnitosti a vnútorných pnutí

Technologický kód	TK594	TK594	TK594
Č. zvitku	5470101	4471309	4471307
Symetrická rovinnosť	0 [I]	-30 [I]	-50 [I]
Okrajová vlnitosť nameraná na TDL	2mm	2mm	do 2mm
Počet nastrihaných hrán TDL	7 hr.	8 hr.	8 hr.
Meranie po uvoľnení vnútorných pnutí	9.: 0,1cm 10.: 1,3cm 11.: 0,2cm 13.: 0,2cm (50cm od okraja) 18.: 0,2cm (50cm od okraja) 20.: 0,3cm	1.: 0,5cm 11.: 0,8cm 20.: 1,1cm	10.: 0,4cm 11.: 0,3cm

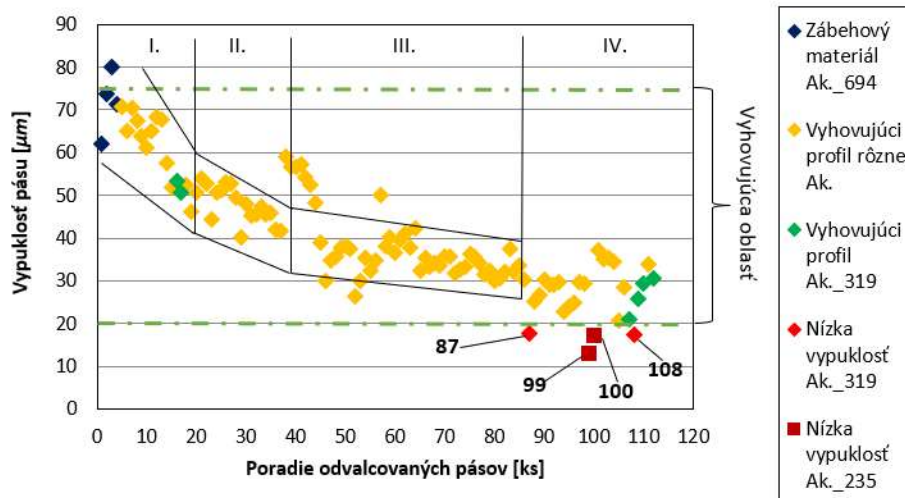
Rovinnosť a priečný profil

Rovinnosť a priečný profil sú vo vzájomnej interakcii.



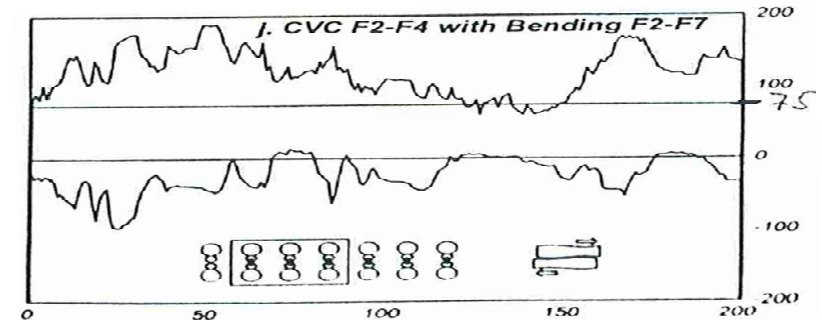
Vplyv kadencie valc. na vypuklosť profilu

Vplyv opotrebenia PV > vplyv kadencie valcovania, po odvalcovaní cca 30. pásu vo valc. kampani.



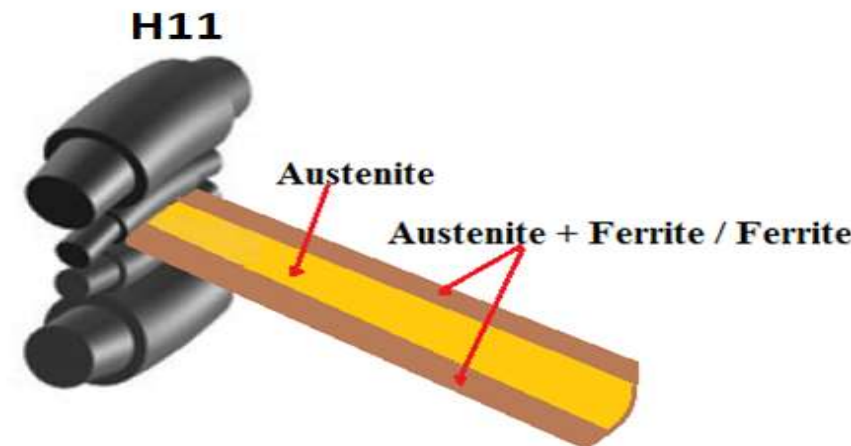
Riadenie priečného profilu - simulácia

Odporúčaná konfigurácia: **CVC F2-F4**
Protiohyb F2-F7 (150 T/st.)

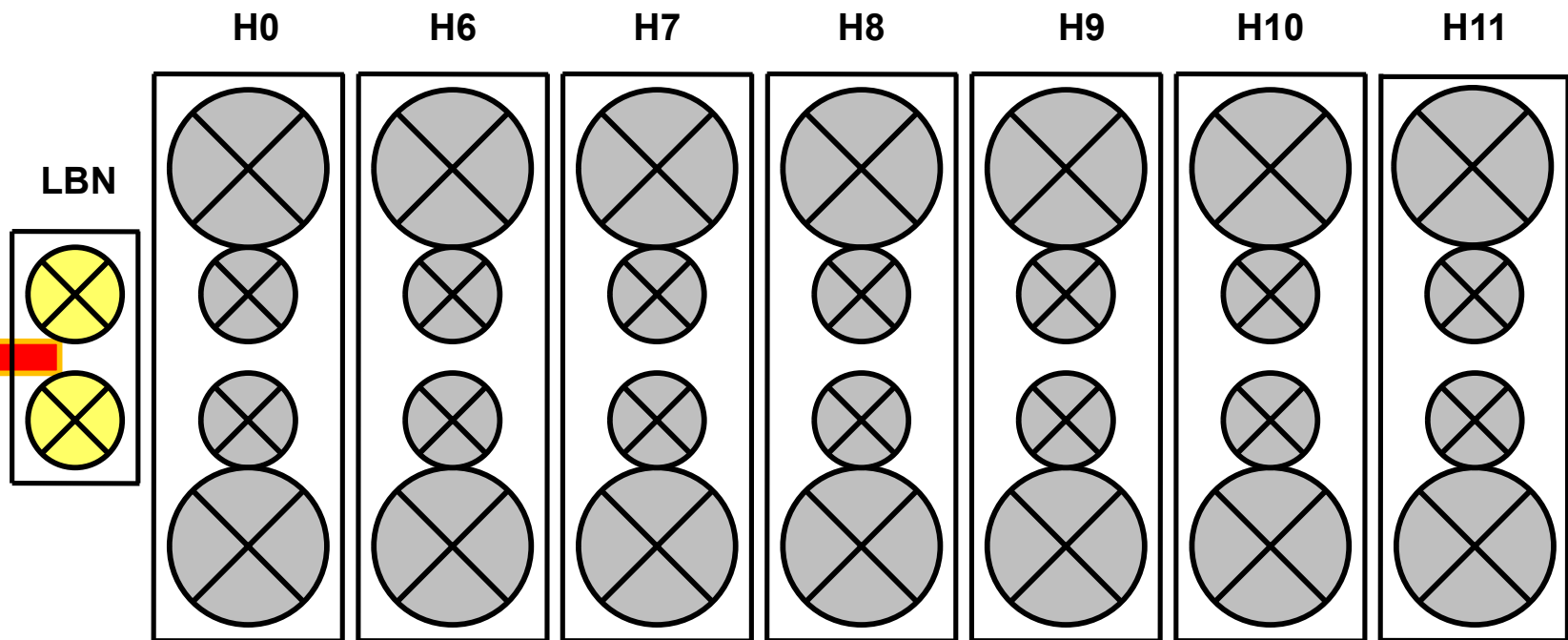


Zmena rovinnosti v procese chladnutia, LCH

Negatívny vplyv nerovnomerného chladnutia pásav po šírke na vznik okrajovej vlnitosti čiastočne potlačený dovalcovaním pásav s miernou stredovou vlnitosťou.



ĎAKUJEM, za pozornosť !



Hotovné poradie TŠP 1700