

Počítačové modelování kontaktních úloh v automatické výrobě a zpracování skla

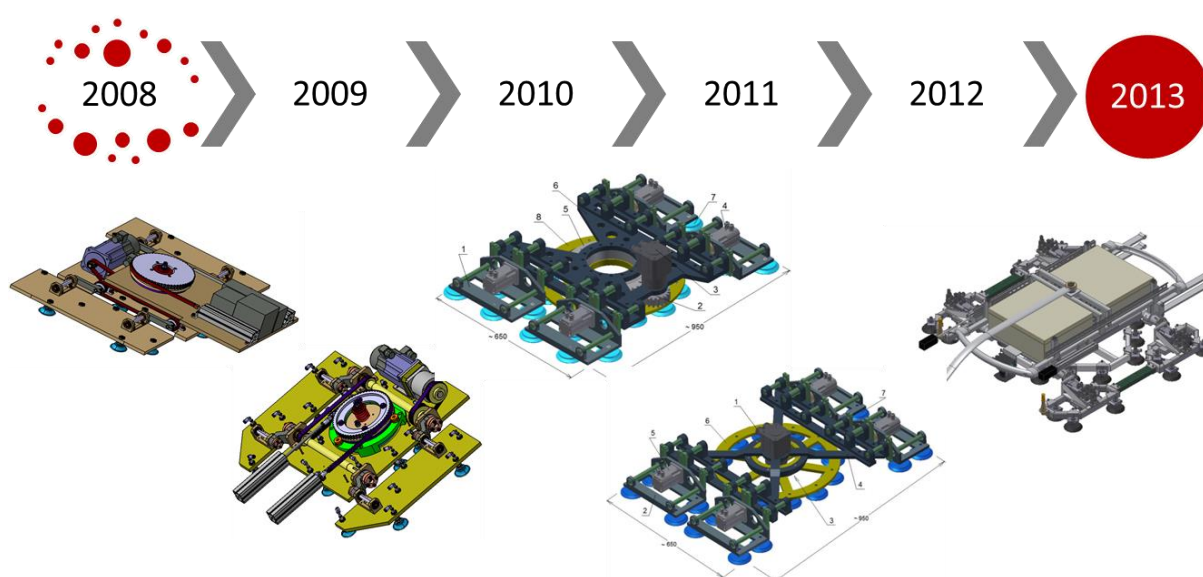
Přílohy habilitační práce

Ing. Marcel Horák, Ph. D.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Katedra sklářských strojů a robotiky
Září 2020

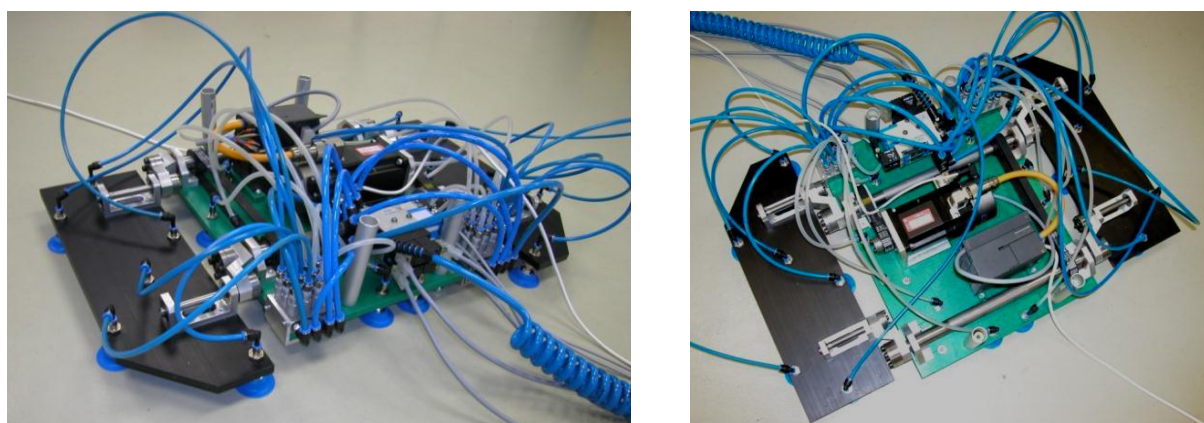
1 Servisní robot pro technologické nasazení na vertikálně orientovaných hladkých stěnách

Přibližně od roku 2008 do 2014 prošla v rámci řešení řady projektů a také diplomových prací mobilní platforma servisního robotu několika etapami vývoje, a to od prvotního návrhu koncepce mechaniky, přídržného podtlakového systému, pohonů, řízení a vzdálené komunikace až po zpracování uživatelského rozhraní. Během řešení bylo navrženo několik variant robotu (*obr. 1.1*), které se odlišovaly především manévrovací schopností, tj. možností změny orientace a pohybové sekvence robotu v závislosti na topologii okolního prostředí. Všechny varianty uplatňují pseudokontinuální krokovací pohybový systém, při kterém dochází k střídavému přesouvání nohou a těla robotu s tím, že velikost kroku je pevně stanovena délkou propojovacích klik.



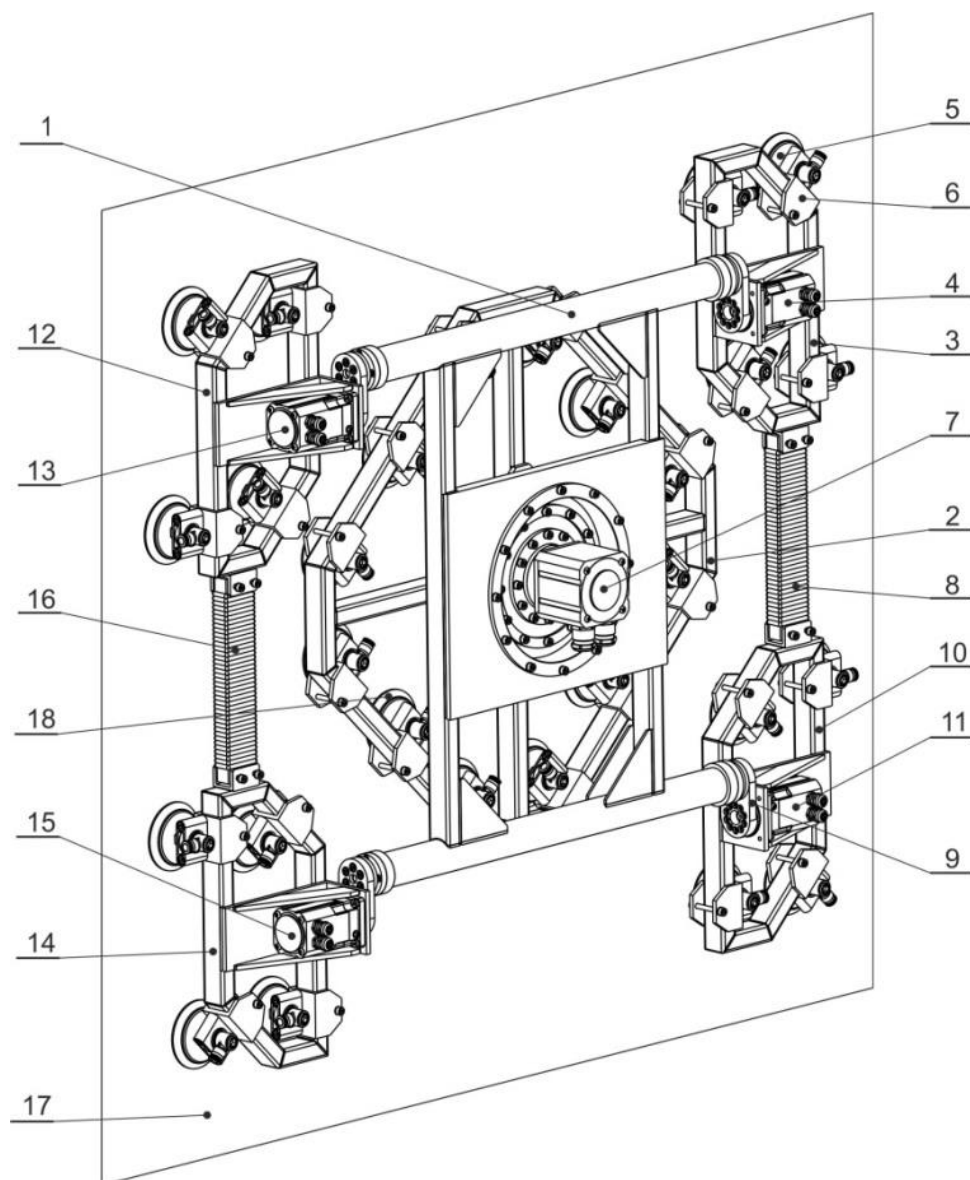
Obr. 1.1 Koncepce mechaniky mobilní platformy servisního robotu

První reálná varianta disponovala pouze dvojicí pohybových nohou, které byly vzájemně provázány tuhou mechanickou vazbou s navazujícím systémem centrálního pohonu, čímž byl na obou stranách robotu vytvořen paralelogram (*obr. 1.2*).



Obr. 1.2 Mobilní platforma servisního robotu MP 01

Toto řešení navíc neumožňovalo měnit směr pohybu a během laboratorního testování byla prověřována především funkce podtlakového přídržného systému a mechaniky. Laboratorní testy prokázaly, že zvolený koncept mechaniky na principu dvou paralelně umístěných paralelogramů zajišťuje dostatečnou pohybovou funkci s možností překonávat i nesourodé plochy s drobnými výškovými nerovnostmi, které jsou eliminovány pružným uložením přísavek.

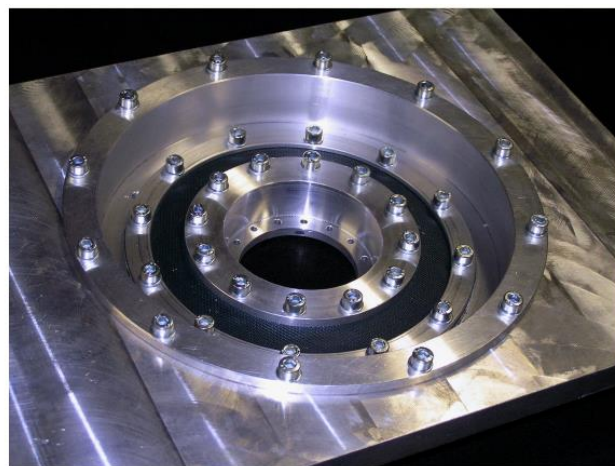
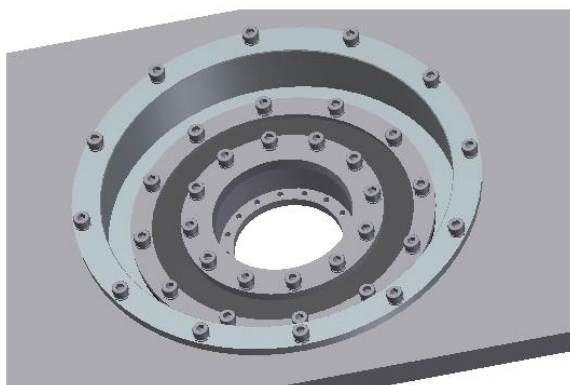


Obr. 1.3 Počítačový model servisního robotu MP 02 (1 – duralový rám, 2 – otočný podvozek, 3, 10, 12, 14 – pohybová noha, 4, 11, 13, 15 – rotační servopohon, 5, 18 – individuální přísavka, 6 – nastavitelný držák, 7 – servopohon, 8, 16 – pružný kompenzační člen, 9 – otočná klika, 17 – ploché sklo)

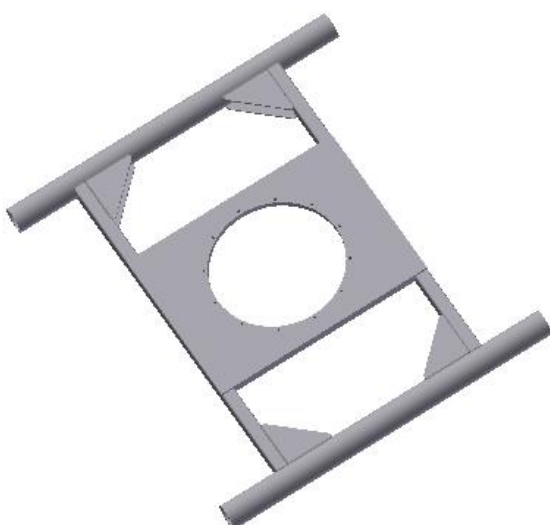
Mechanický princip byl následně během několika let funkčně optimalizován a přepracován do podoby poslední generace mobilní platformy (obr. 1.3) využívající rotačních servopohonů, duralových svařovaných rámců a modulárního řídicího systému na bázi průmyslového počítače, čímž došlo k výraznému snížení hmotnosti na cca 30 kg a zvýšení

užitečné hmotnosti na úroveň 20 kg. Přepracovaný koncept byl rozšířen o další rotační pohybovou servoosu umožňující realizovat natáčení v ose platformy kolmé na kontaktní rovinu (ploché sklo). Současnou – druhou generaci servisního robotu předcházely ještě celkem tři koncepty, které se lišily uspořádáním rotační jednotky pro zajištění změny směru pohybu a uložením pohybových nohou, jejichž pohyb byl buď zcela vzájemně nezávislý, závislý anebo částečně nezávislý, daný pružným propojením dvojice nohou na stranách těla robotu.

Na základě provedené funkční, tvarové a deformační počítačové analýzy jednotlivých dílů sestavy mobilní platformy byl navržen technologický postup výroby duralových svařenců, komponent dílů rotačních uložení (detail rotačního uložení rámu a otočného podvozku na *obr. 1.4*), nastavitelných držáků, rozvodných kostek atd. tak, aby byla docílena předpokládaná přesnost tvarů a rozměrů.



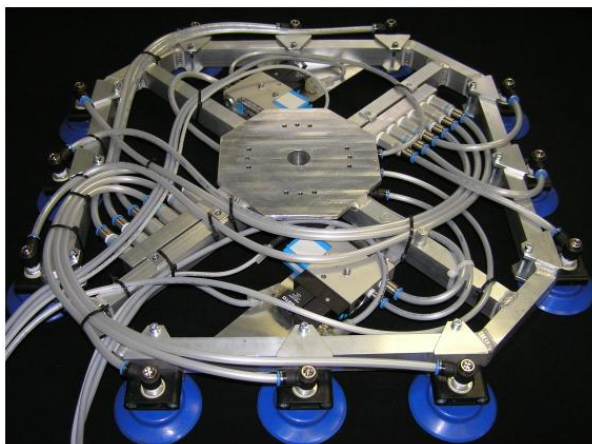
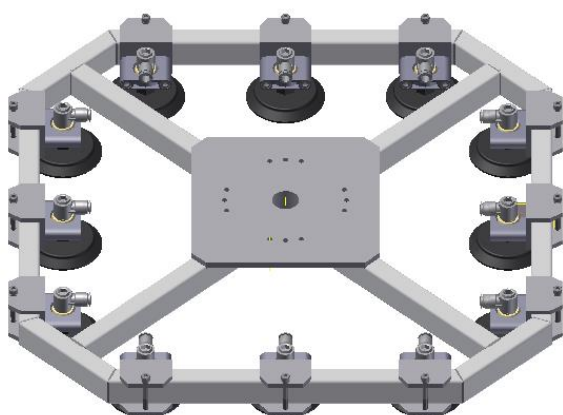
Obr. 1.4 Rotační uložení (bez instalovaného servopohonu)



Obr. 1.5 Duralový rám platformy

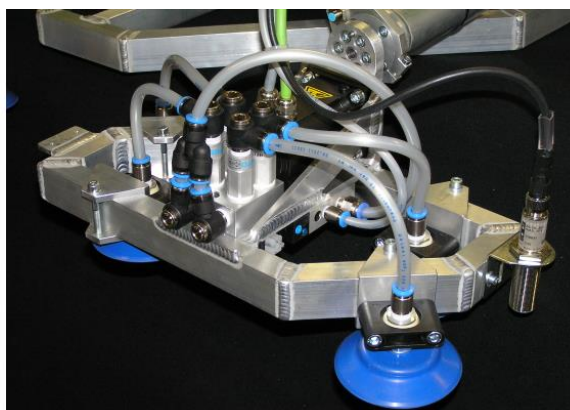
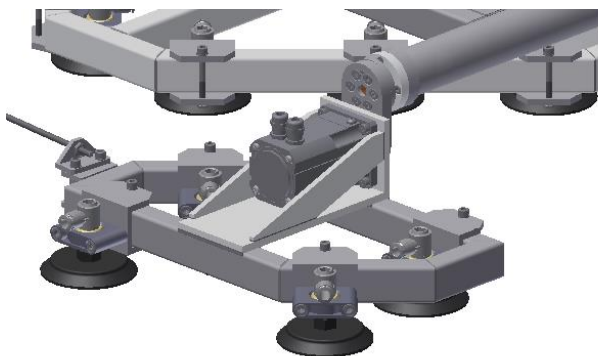
Na *obr. 1.5* je pak např. duralový svařenec rámu platformy v porovnání s počítačovým modelem. Jednotlivé díly byly řešeny tak, aby byla minimalizována hmotnost a zajištěna maximální tuhost. Pro předpokládanou hmotnost a výše uvedenou nosnost byl dimenzován přídržný podtlakový systém, který je tvořen aktivními přísavkami v kombinaci s inteligentními víceetapovými ejektory.

Z důvodu bezpečnosti držení platformy byl podtlakový přídržný systém rozdělen na otočném podvozku do dvou sekcí, další okruhy pak byly individuálně řešeny pro každou pohybovou nohu zvlášť. Celkem je tedy podtlakový obvod rozdělen na šest nezávislých sekcí, což lze s výhodou využít např. při překonávání konstrukčních dilatačních spár skleněného opláštění budovy. Na *obr. 1.6* je detail počítačového modelu otočného podvozku v porovnání s reálným provedením s instalovanými ejektory a propojením přísavek.



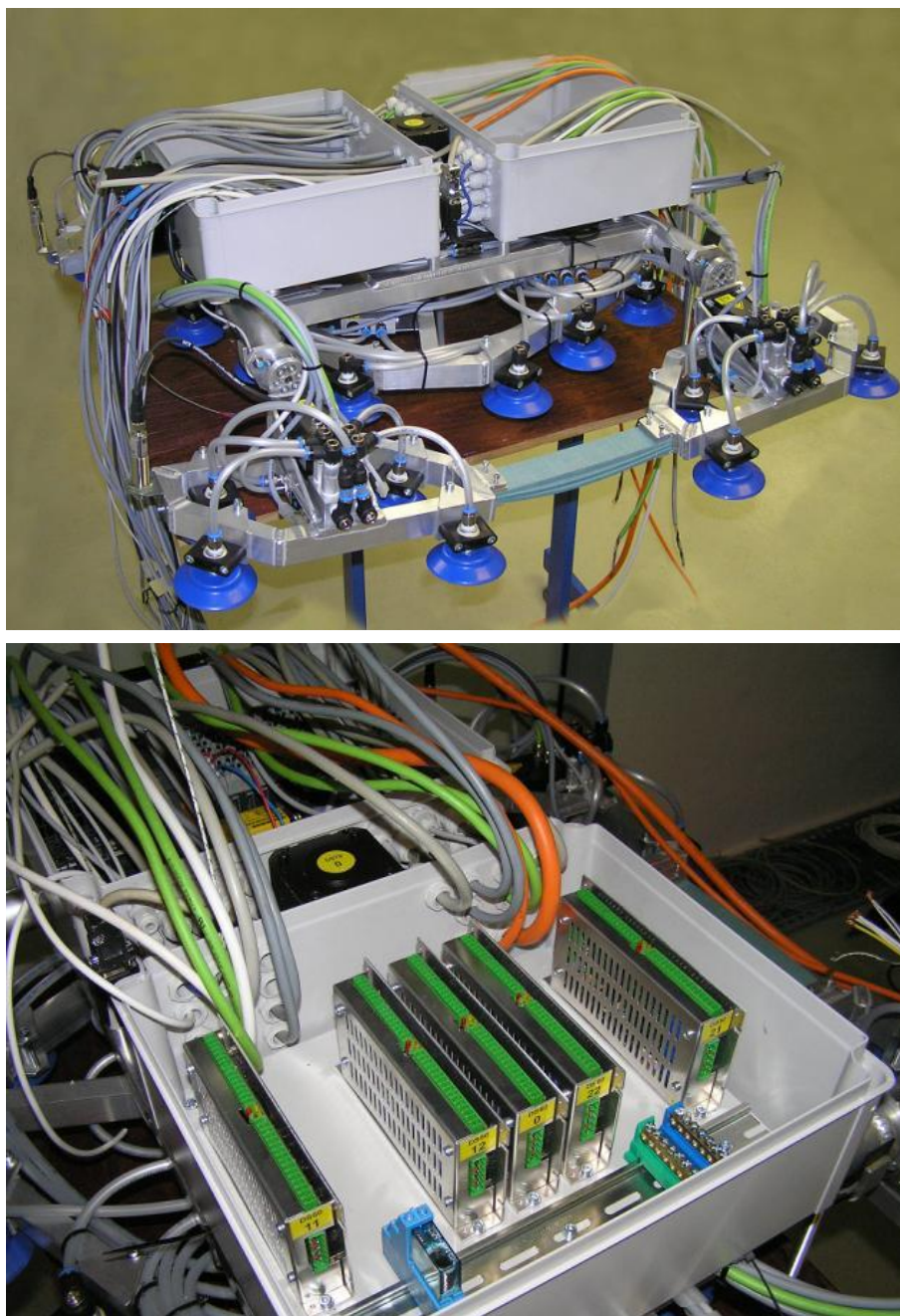
Obr. 1.6 Detail otočného podvozku

Koncepce propojení pohybové nohy s rámem platformy je patrná z *obr. 1.7*. Vlevo je počítačový model bez osazení výkonovým pneumatickým (vakuovým) obvodem, vpravo je pak řešení po konečné montáži, kdy je na nohu integrován pneumatický rozvod, včetně ejektoru, rozvodného bloku s inteligentními uzavíracími ventily a také ultrazvukového snímače pro spojitou detekci překážek a kontrolu polohy (vzdálenosti) nohy vzhledem k rovině skleněného opláštění.



Obr. 1.7 Pohybová noha platformy

Na *obr. 1.8* je po provedené základní montáži mechanických dílů zachycen průběh z instalace elektronických komponent řídicího systému. Platforma byla osazena laserovými snímači umožňujícími snímat orientaci platformy v prostoru, čidly náklonu a odklonu, výkonovou elektronikou, tj. digitálními servozesilovači pro napájení a řízení pohonů a vyspělým řídicím systémem na bázi kompaktního průmyslového Embedded PC rozšířeného o CANbus terminál, modul vstupů a výstupů, včetně modulu pro snímání teplot a jednotku zajišťující bezdrátovou komunikaci mezi platformou a uživatelským terminálem, např. notebookem, mobilním telefonem apod.



Obr. 1.8 Elektroinstalace řídicího systému robotu

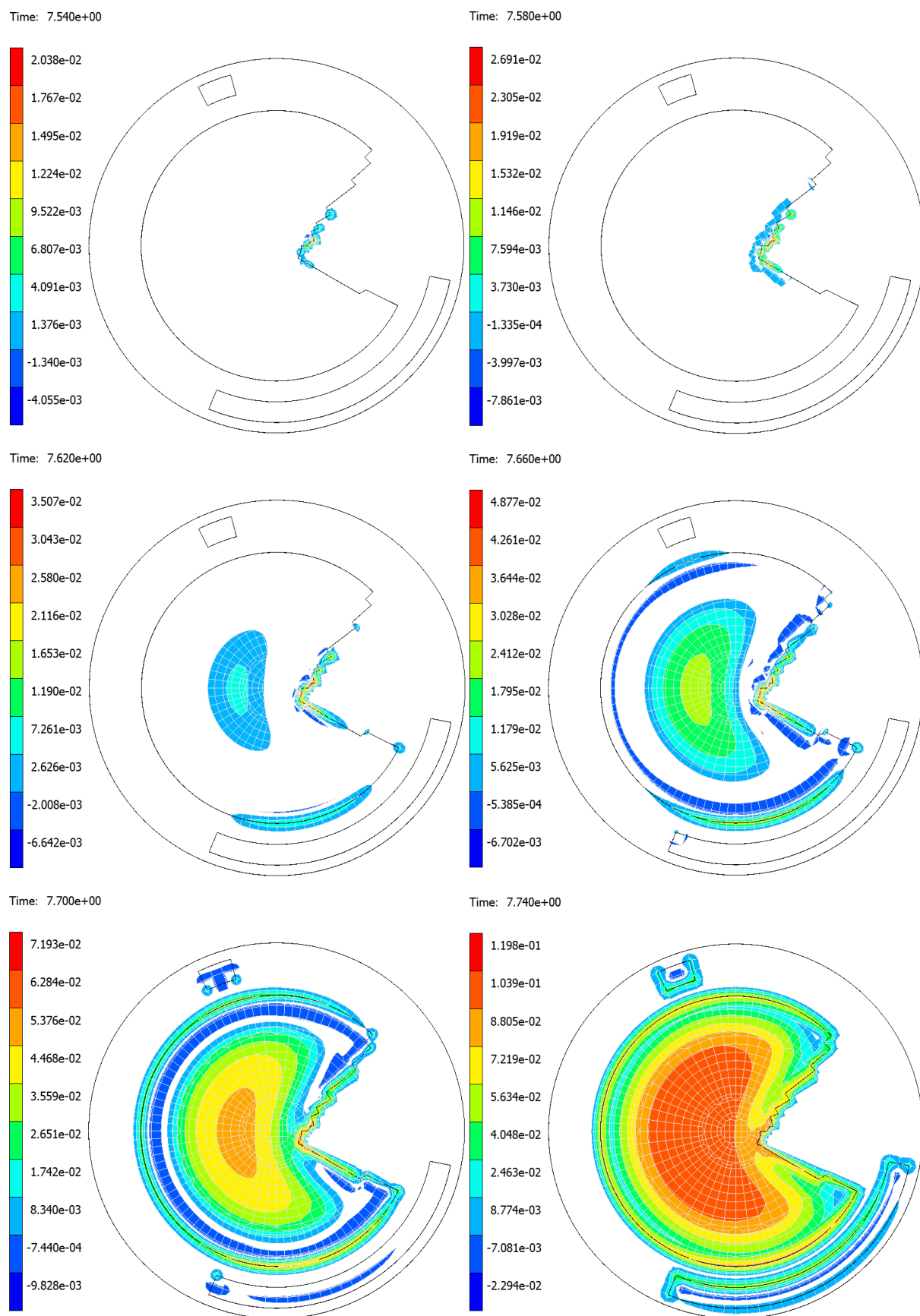
Finální produkt včetně designového krytu je na *obr. 1.9* a prezentuje poloautomatický systém robotu s částečnou autonomií během laboratorních testů na běžně užívaném fasádním systému Structura Duo+ celosvětově dodávaným společností ASAHI GLASS CO., LTD (AGC). V kombinaci s technologickými nástavbami je určen pro mytí, čištění stěn a pro realizaci inspekčních činností, jako je např. kontrola stavu pláště v místě konstrukčního upevnění skla a kontrola neporušenosti pláště tlakových nádob z nerez oceli.



Obr. 1.9 Funkční vzorek servisního robotu

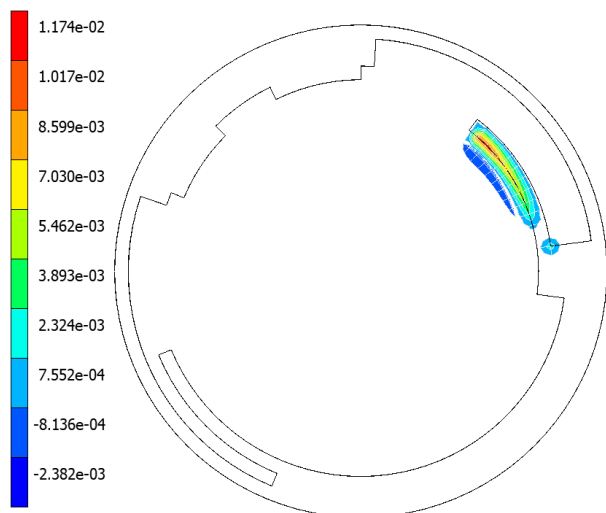
V rámci řešení jsou v současné době dále vyvíjeny dva typy nástaveb, pro inspekci pomocí kamer a pro mytí skleněných fasád budov. Nástavba ve formě hmotnostně úsporného čistícího systému pro suché technologie a technologie mytí s minimální spotřebou čisticí kapaliny na mytí plášťů budov je připravována s ohledem na zajištění maximálního čistícího výkonu při minimální spotřebě energií. Inspekční činnost je zajišťována systémem dvou HD kamer, které umožňují monitorovat stav sledovaného povrchu a spolu s vyvíjenou metodikou a SW modulem pro analýzu obrazu sledovat vybrané faktory, např. vady ve skle.

2 Výstupy počítačové simulace pro adhezní typ kontaktu

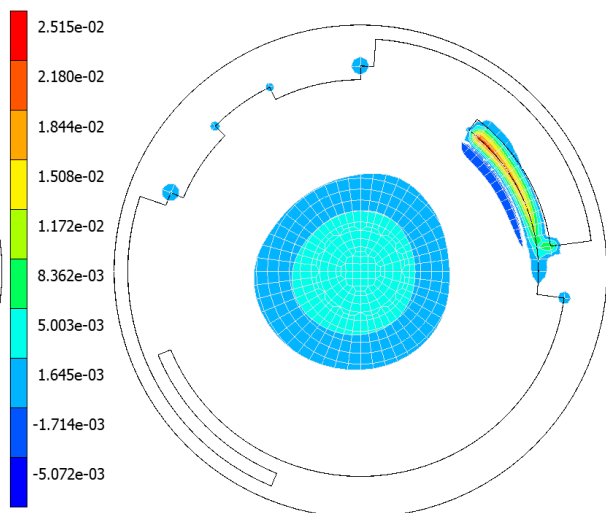


Obr. 2.1 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (aktivní plocha kontaktu „A“)

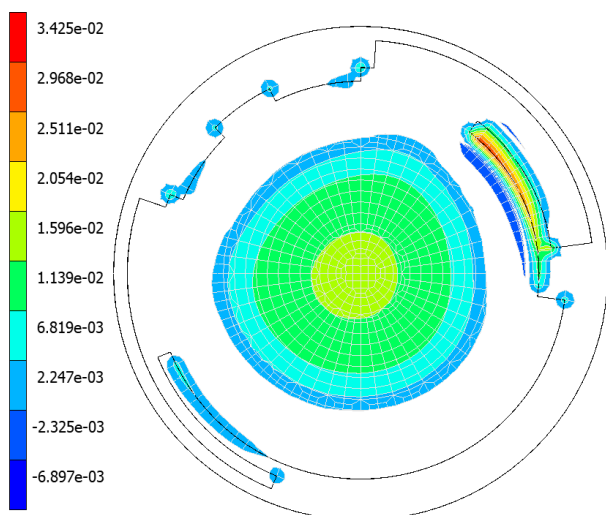
Time: 1.204e+01



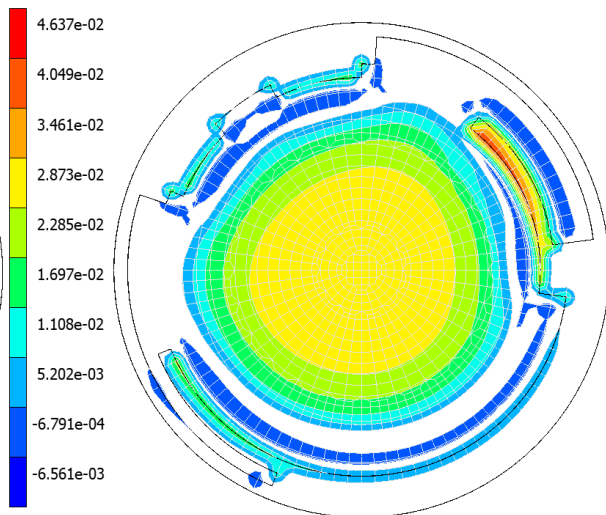
Time: 1.212e+01



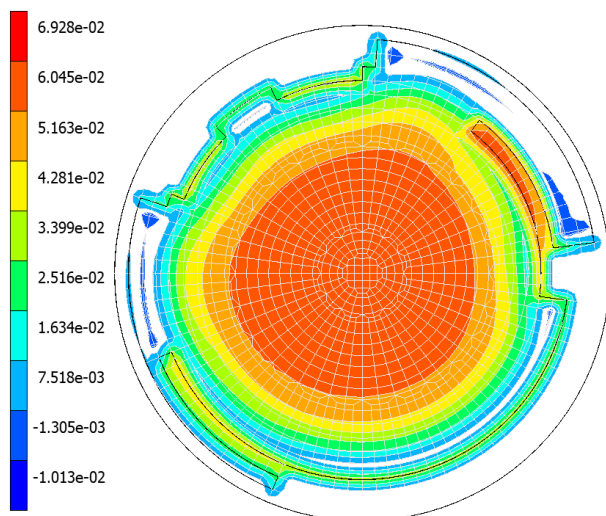
Time: 1.216e+01



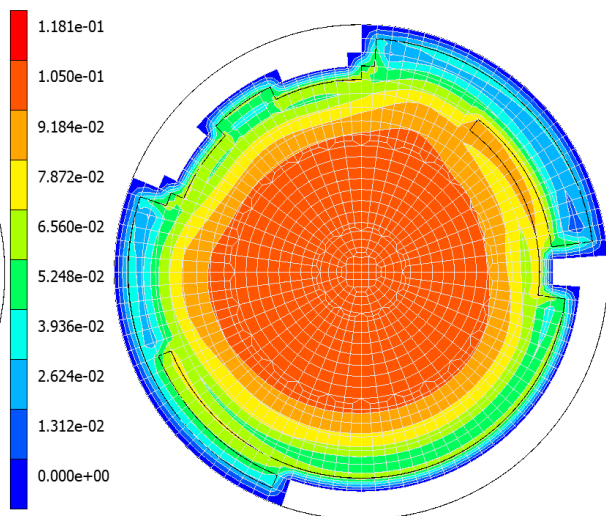
Time: 1.220e+01



Time: 1.224e+01

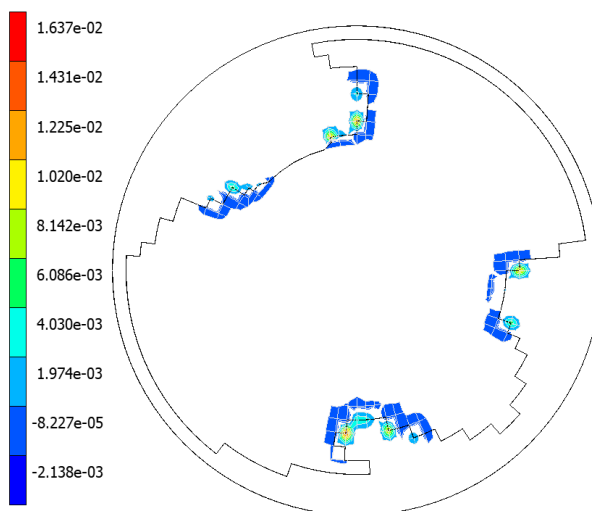


Time: 1.225e+01

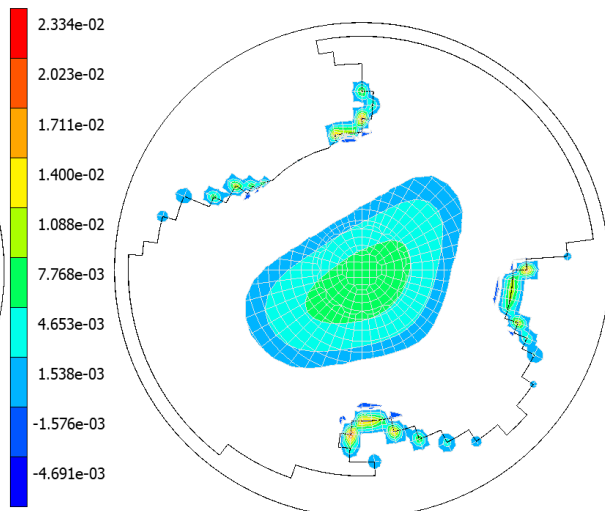


Obr. 2.2 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (aktivní plocha kontaktu „B“)

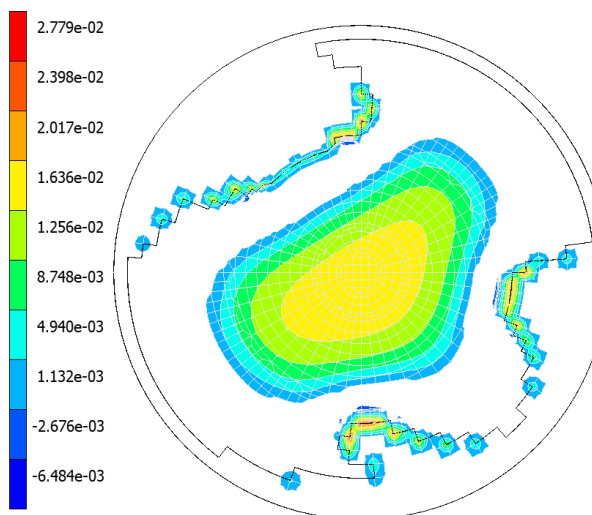
Time: 1.012e+01



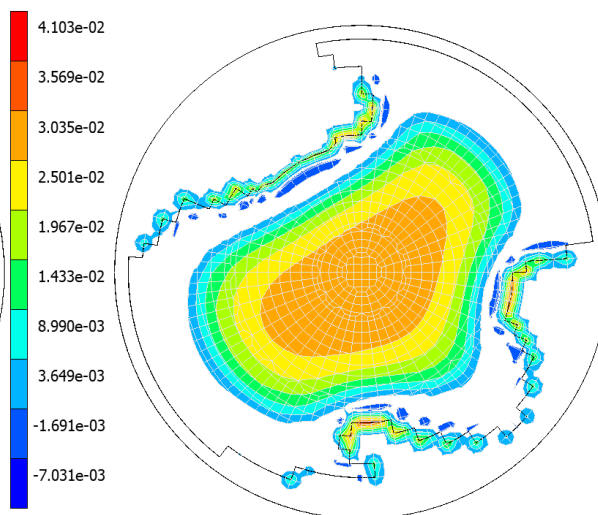
Time: 1.020e+01



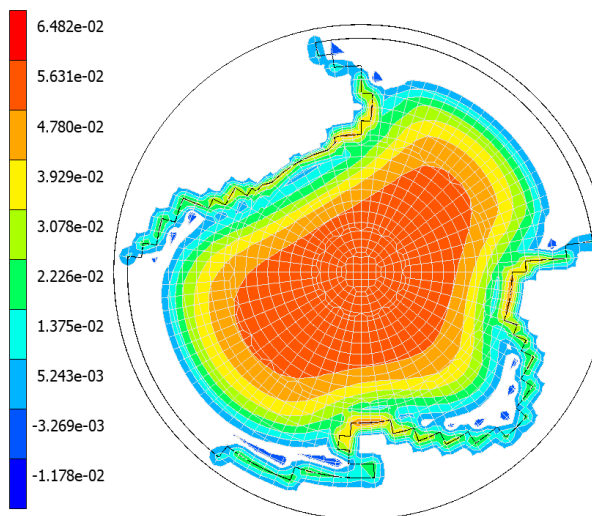
Time: 1.024e+01



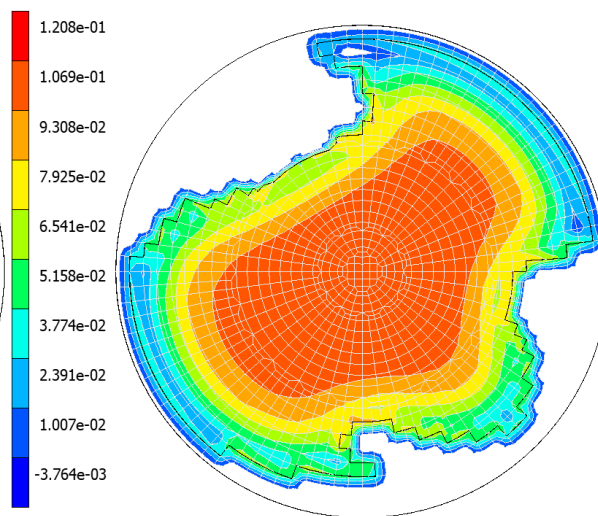
Time: 1.028e+01



Time: 1.032e+01

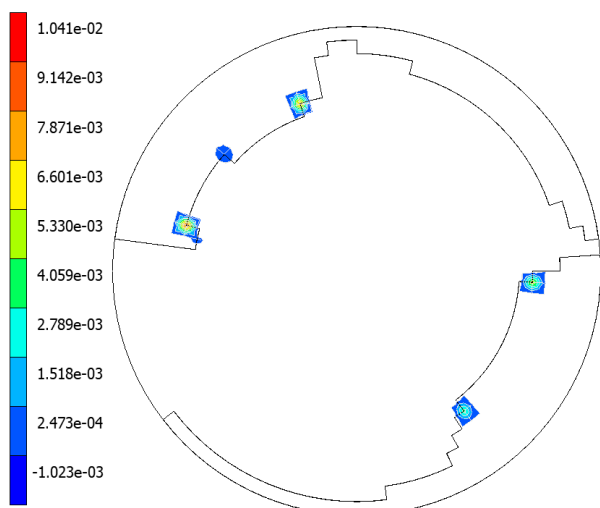


Time: 1.034e+01

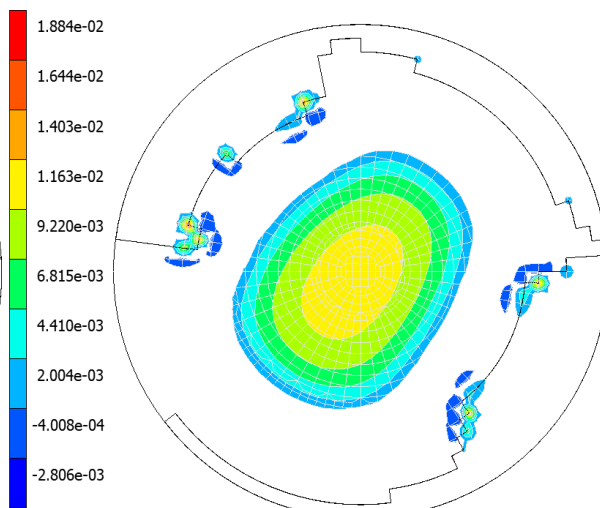


Obr. 2.3 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (aktivní plocha kontaktu „C“)

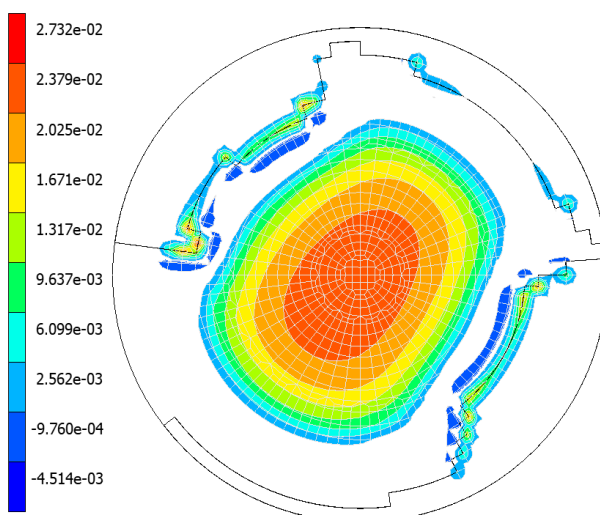
Time: 1.128e+01



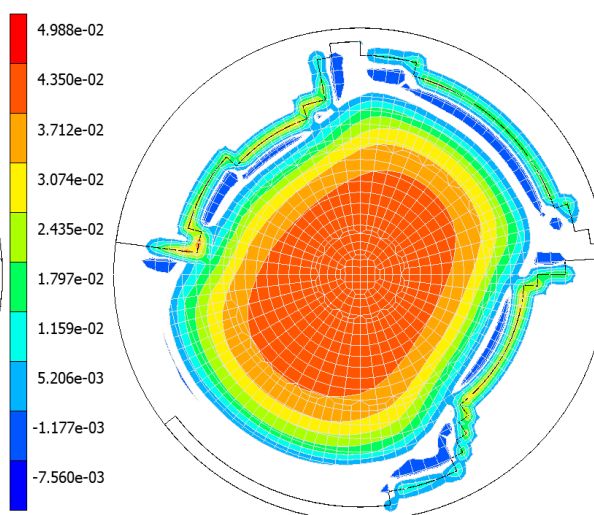
Time: 1.136e+01



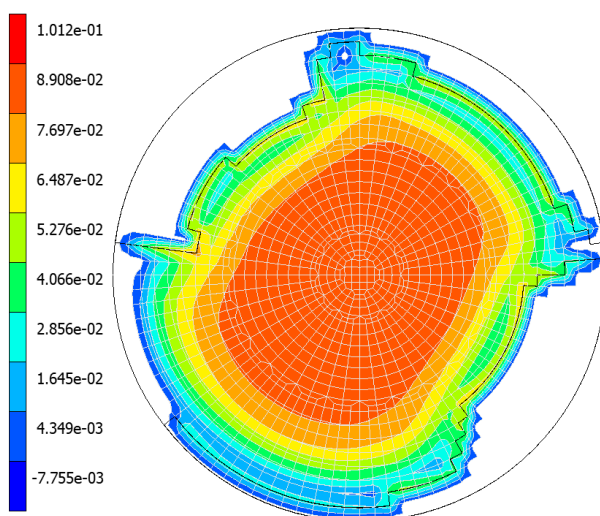
Time: 1.140e+01



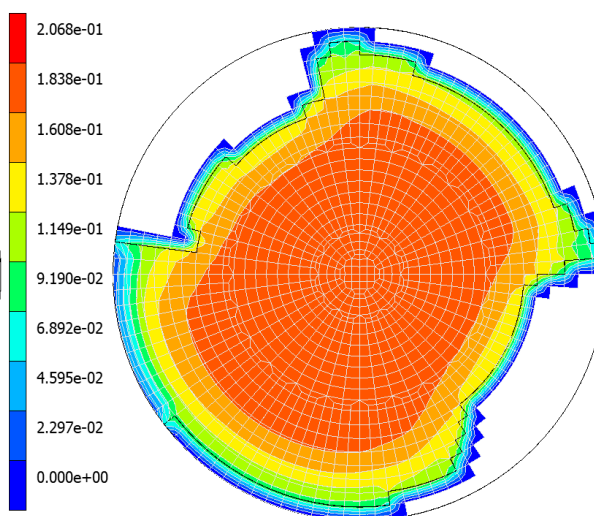
Time: 1.144e+01



Time: 1.148e+01

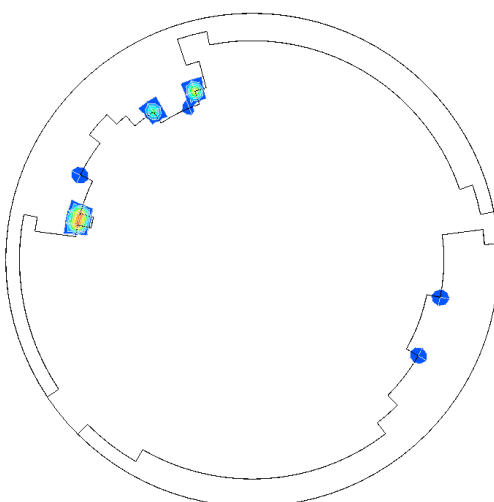
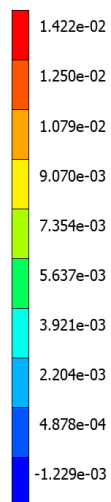


Time: 1.150e+01

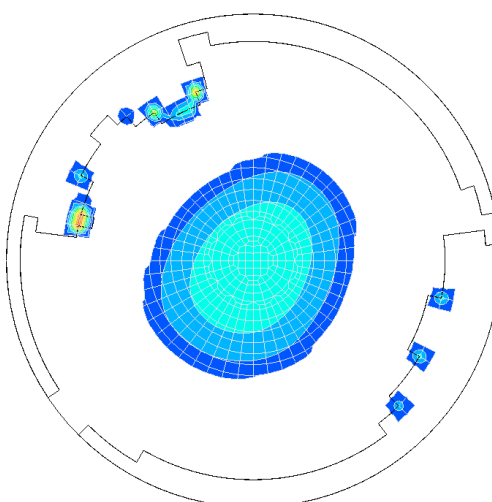
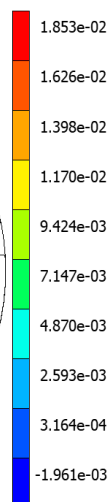


Obr. 2.4 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (aktivní plocha kontaktu „D“)

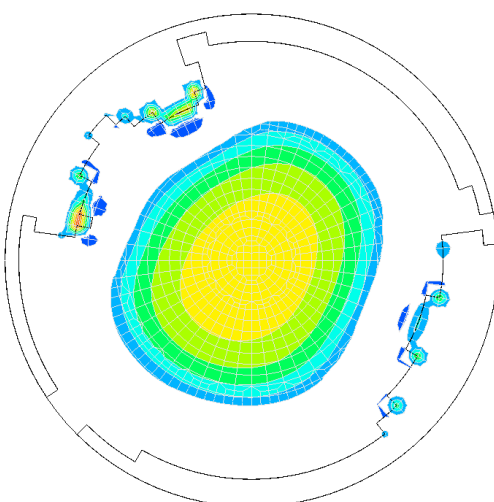
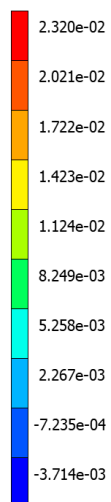
Time: 1.204e+01



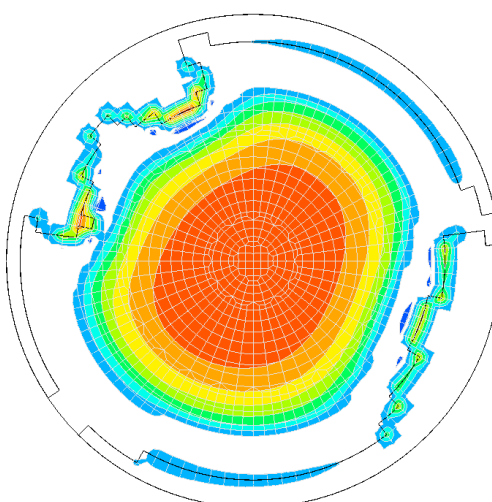
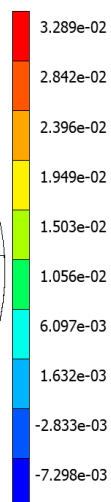
Time: 1.208e+01



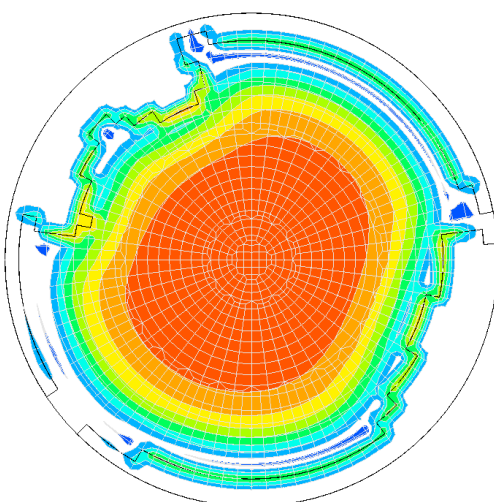
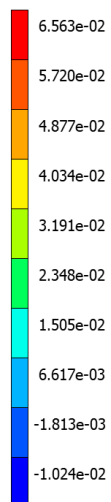
Time: 1.212e+01



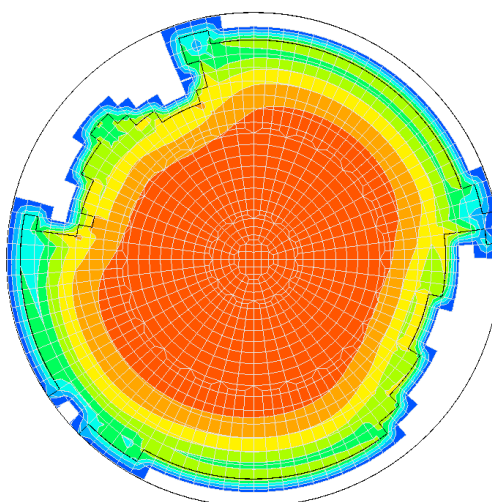
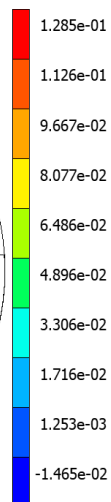
Time: 1.216e+01



Time: 1.220e+01

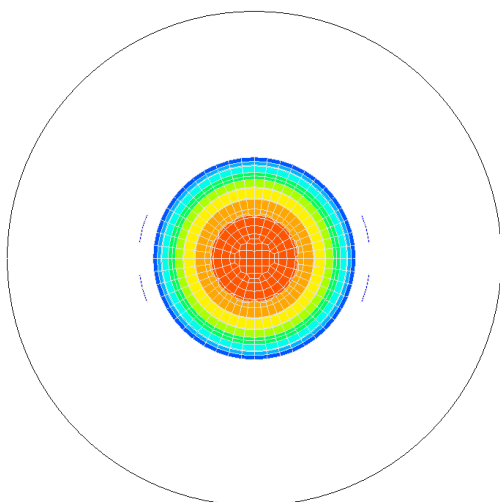
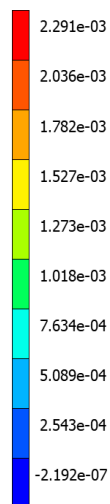


Time: 1.222e+01

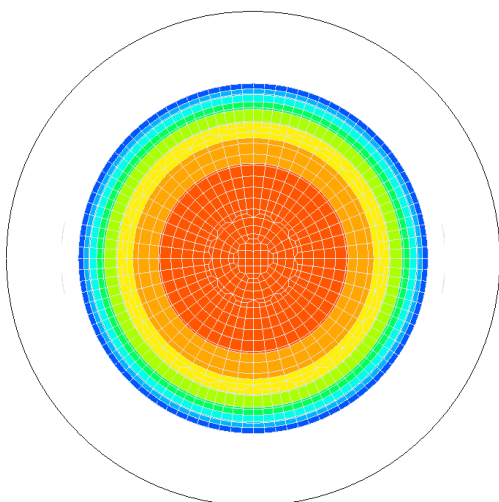
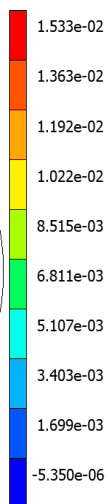


Obr. 2.5 Rozvoj kolapsu adhezniho kontaktu (aktivní plocha kontaktu „E“)

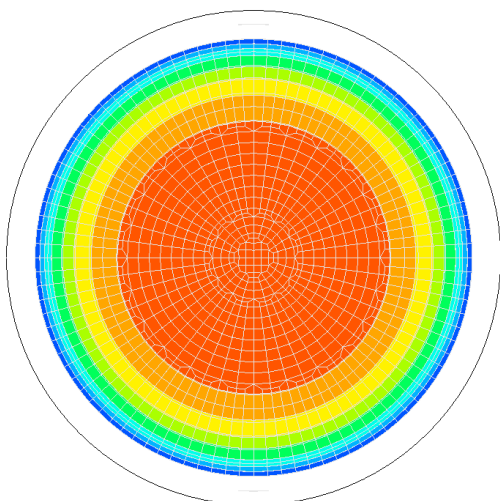
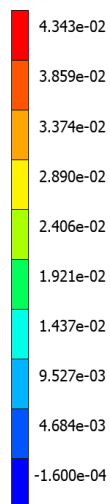
Time: 1.838e+01



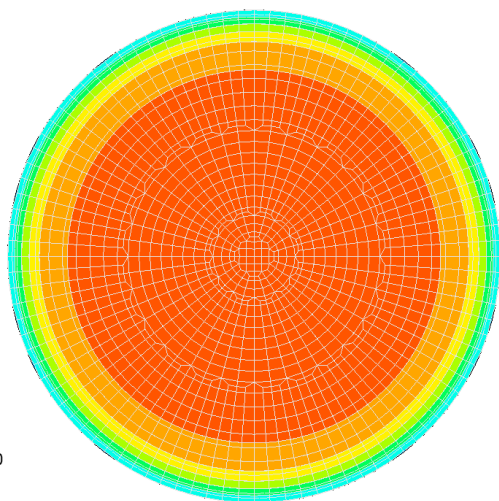
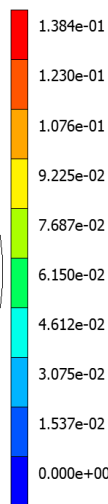
Time: 1.850e+01



Time: 1.863e+01

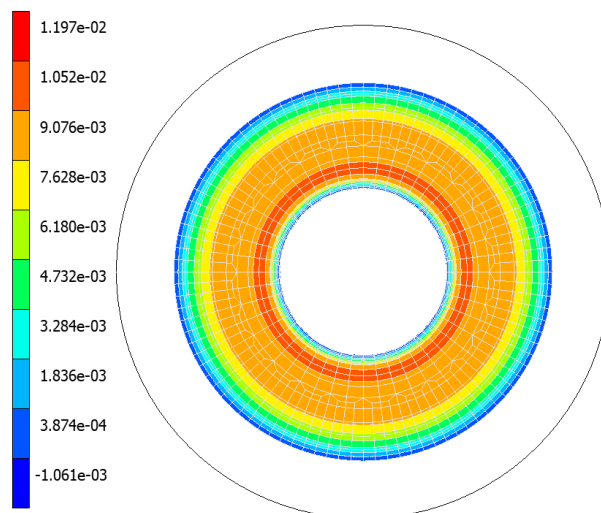


Time: 1.905e+01

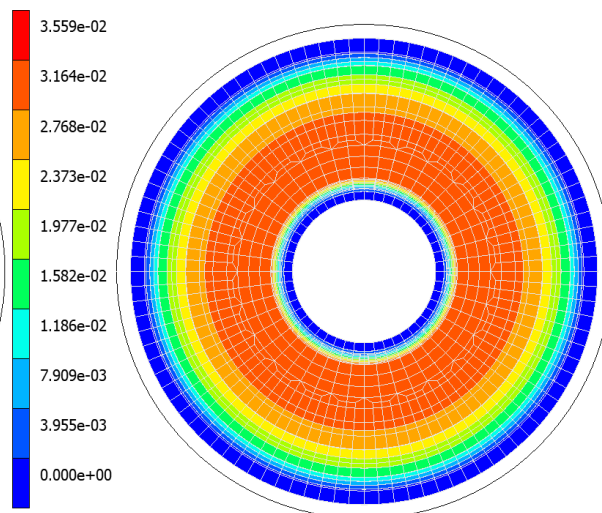


Obr. 2.6 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (kontakt v celé ploše)

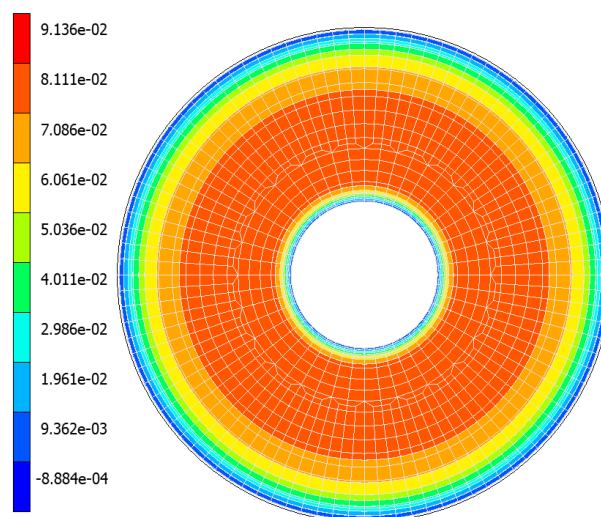
Time: 1.813e+01



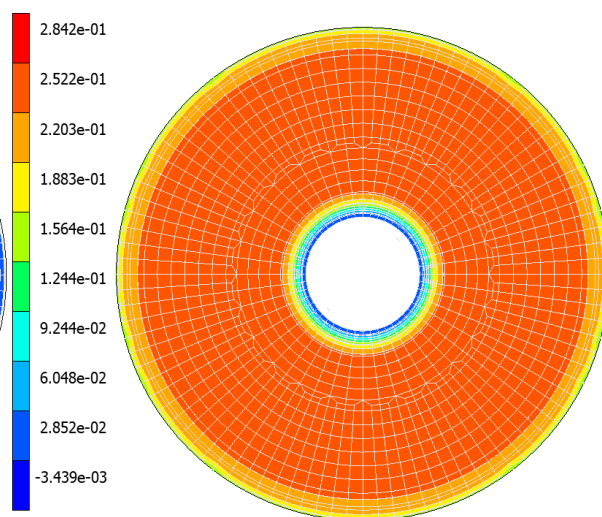
Time: 1.825e+01



Time: 1.838e+01



Time: 1.889e+01



Obr. 2.7 Rozvoj kolapsu adhezního kontaktu (prstencový kontakt)

3 Počítačová simulace procesu instalace měděné pásky na PVB fólii

Homogenita teplotního pole coatingem vyhřívaných čelních automobilových skel závisí na mnoha procesních parametrech výroby. Jedním ze stěžejních vlivů ovlivňujících kvalitu výrobku je výrobní fáze související s tvarováním a lepením Cu pásek (elektrod) na podkladovou PVB fólii a dále pájení kontaktů, při kterém dochází k lokálnímu ovlivnění fólie tepelným šokem. Reologické chování PVB fólie v kombinaci se stávající technologií výroby funkční vrstvy se projevuje vznikem nedokonalého kontaktu elektrod s pokovenou vrstvou skla, což způsobuje vyšší přechodový odpor, který je následně příčinou lokálního přehřívání skla a vzniku tzv. hotspotu (přehřátého místa).

Nedokonalý kontakt je výsledkem instalace Cu pásek pomocí válcovacího přípravku, který způsobuje lokální zvlnění fólie. Váleček přípravku odvalovaný po povrchu měkkého PVB se boří (vtlačuje) do vrstvy fólie, vytváří valivý odpor a v důsledku něho dochází k posouvání „vlny“ plastu ve směru pohybu válečku. Plast je v celé povrchu válečku vytlačován zčásti dopředu a zčásti do stran – vytváří se určitá „kolej“, která však není deformačně stabilní, neboť s ohledem na reologické chování s časem relaxuje a deformace mizí.

Tab. 3.1 Materiálová specifikace PVB fólie

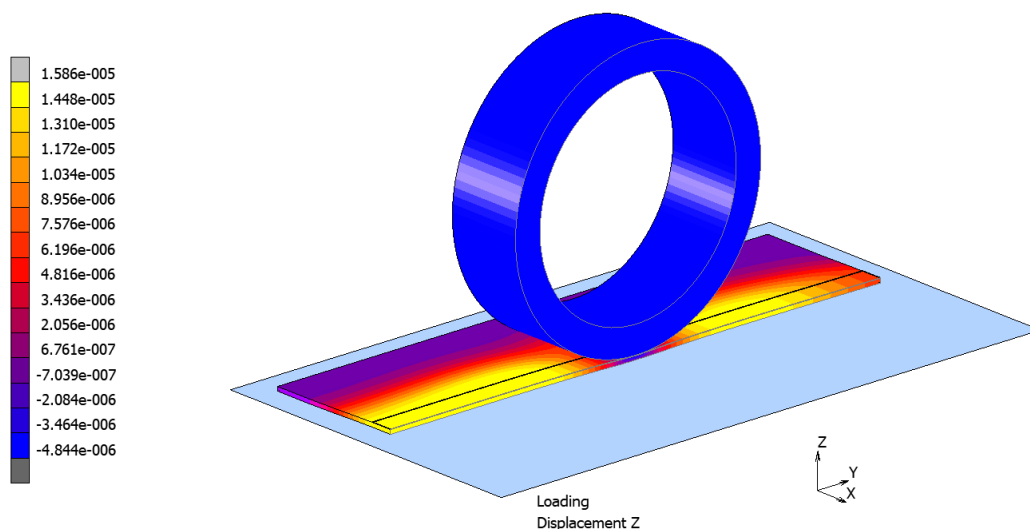
Poissonova konstanta	0,49	Hustota	1066 kg.m ⁻³
WLF materiálová konstanta C ₁	12,6	Měrná tepelná kapacita	1980 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
WLF materiálová konstanta C ₂	74,46	Součinitel tepelné vodivosti	0,2 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Referenční teplota T ₀	20 °C	Součinitel teplotní roztažnosti	8.10 ⁻⁵ K ⁻¹
Parametry Prony řady			
τ_i [s]		g_i [-]	
2,36600000000000.10 ⁻⁷		2,342151953.10 ⁻¹	
2,26430000000000.10 ⁻⁶		2,137793134.10 ⁻¹	
2,16668000000000.10 ⁻⁵		1,745500419.10 ⁻¹	
2,07327300000000.10 ⁻⁴		1,195345045.10 ⁻¹	
1,98389580000000.10 ⁻³		1,362133454.10 ⁻¹	
1,89837195000000.10 ⁻²		6,840656310.10 ⁻²	
1,81653498300000.10 ⁻¹		4,143944180.10 ⁻²	
1,73822593210000		7,251952800.10 ⁻³	
1,66329270788000.10 ¹		2,825459600.10 ⁻³	
1,59158978189400.10 ²		2,712854000.10 ⁻⁴	
1,52297789909670.10 ³		4,293523000.10 ⁻⁴	
1,45732380763177.10 ⁴		9,804730000.10 ⁻⁵	
1,39449999999999.10 ⁵		5,274937000.10 ⁻⁴	

Tab. 3.2 Materiálové konstanty Cu pásky

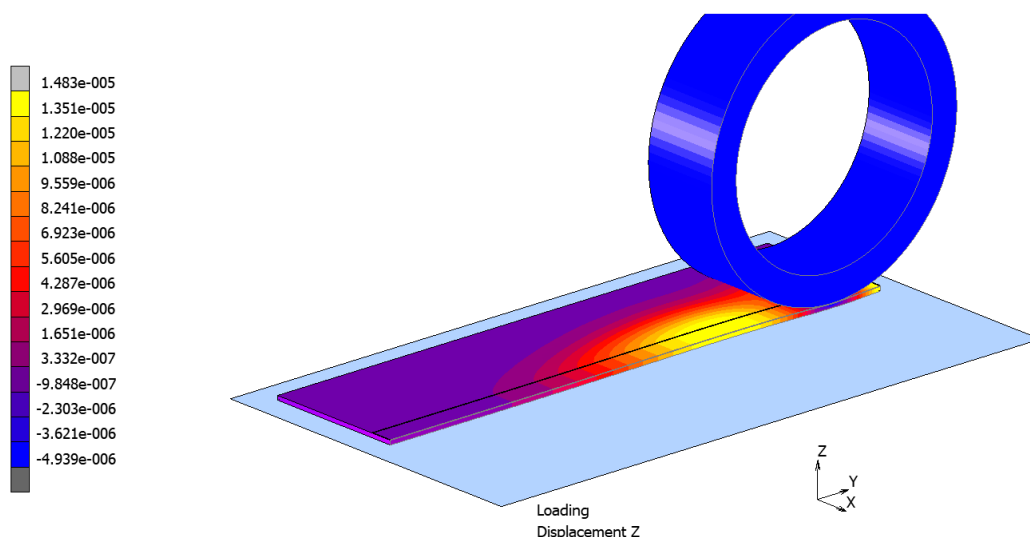
Hustota	7764 kg.m ⁻³	Měrná tepelná kapacita	385 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Poissonova konstanta	0,343	Součinitel tepelné vodivosti	394 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Modul pružnosti	1,1.10 ¹¹ Pa	Součinitel teplotní roztažnosti	1,65.10 ⁻⁵ K ⁻¹

Cílem simulačních výpočtů bylo v první fázi prokázat vliv rozdílného přítlaku přípravku na charakter a rozložení deformačních polí fólie v okolí pásky. Pro tento účel byl navržen a

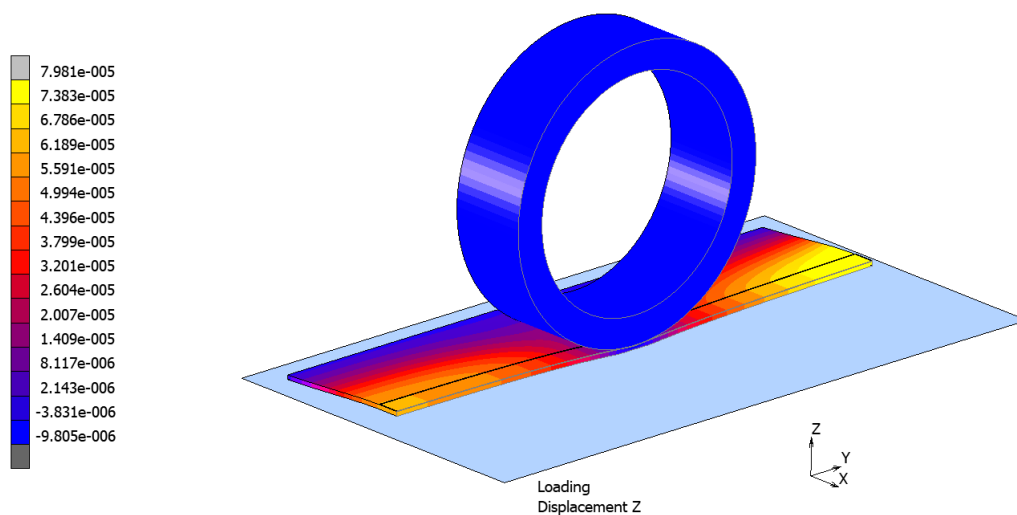
postupně zpřesňován počítačový model kontaktní úlohy ocelového tuhého válečku válcovacího přípravku a funkční vrstvy, tj. lepené Cu pásky a fólie. Model respektuje geometrii válečku s průměrem 50 mm a šířkou 28 mm , Cu pásky s šířkou 8 mm a tloušťkou $0,1\text{ mm}$. Rozměr vzorku fólie je $50 \times 100 \times 0,76\text{ mm}$. Materiálové vlastnosti byly nastaveny v souladu s informacemi uvedenými v *kap. 2*. Konkrétní materiálové konstanty jsou uvedeny v *tab. 3.1* a *3.2*. Dosažené výsledky (*obr. 3.1 – 3.10*) odpovídají přitlaku válečku od 10 N do 100 N a ukazují deformace fólie s nalepenou Cu páskou ve směru normály k válcovanému povrchu.



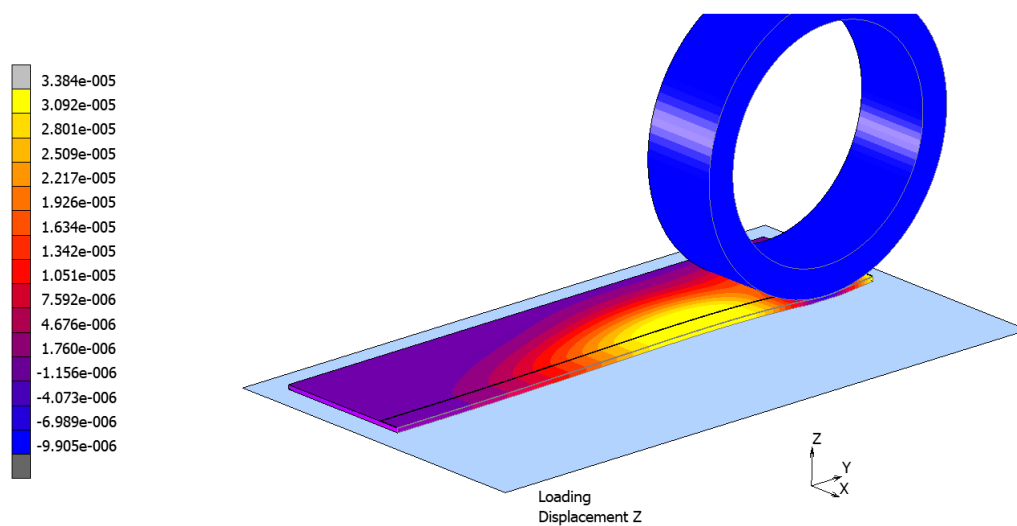
Obr. 3.1 Začátek válcování, přitlak 10 N



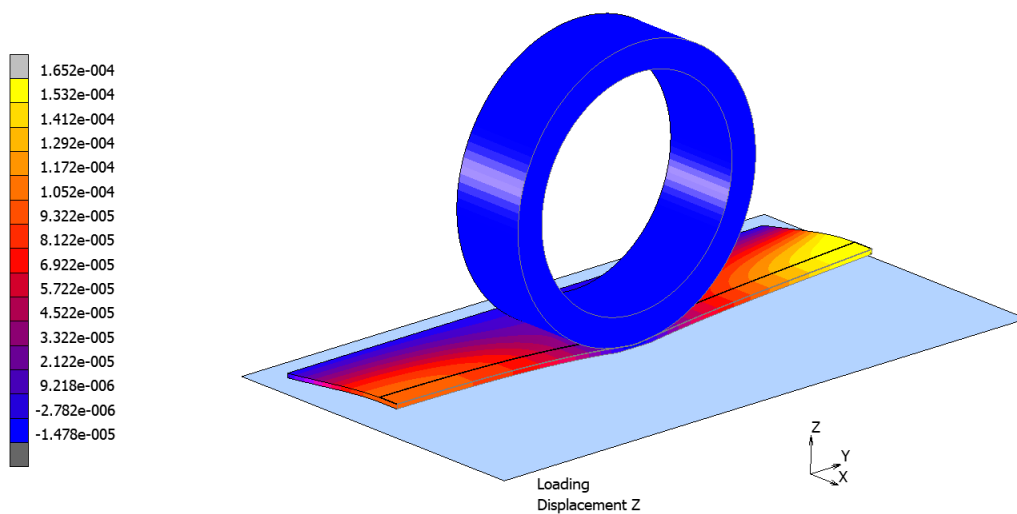
Obr. 3.2 Konec válcování, přitlak 10 N



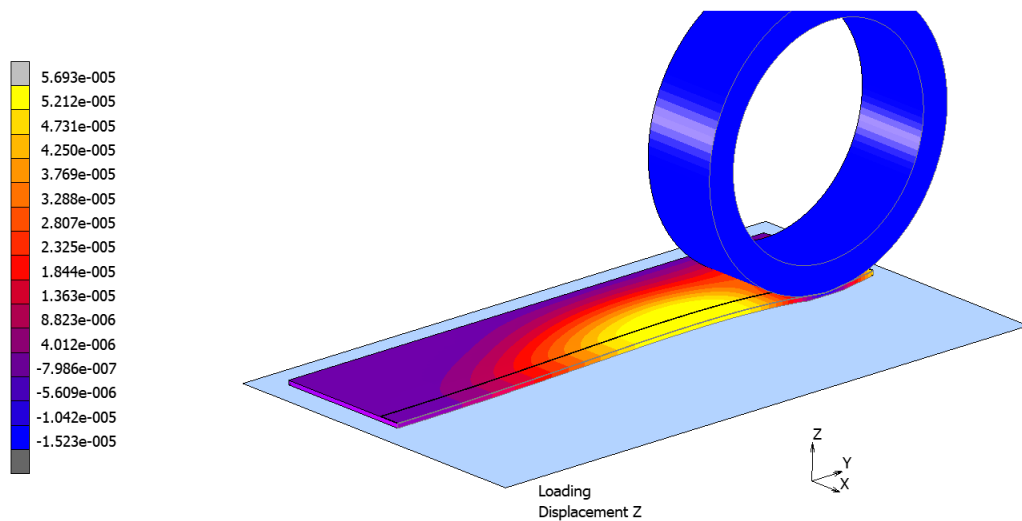
Obr. 3.3 Začátek válcování, přítlak 20 N



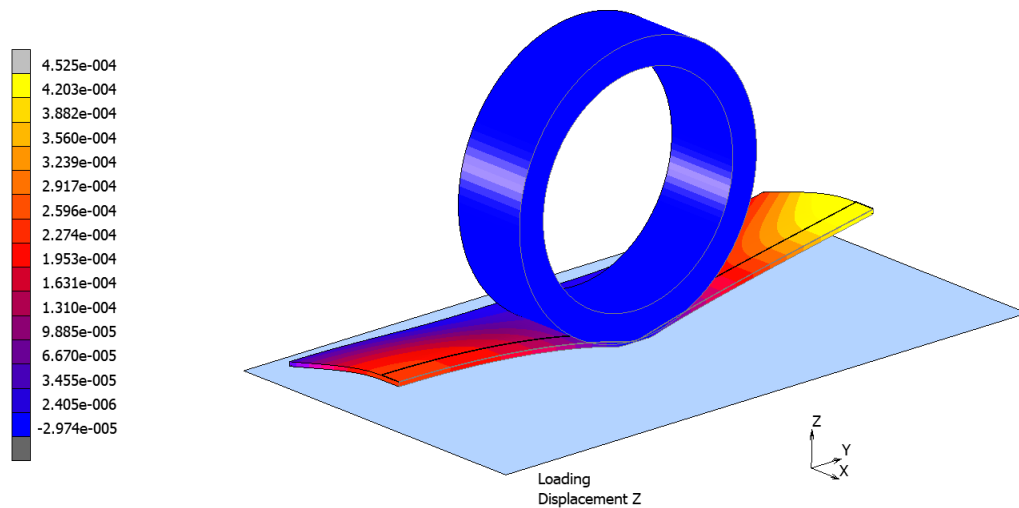
Obr. 3.4 Konec válcování, přítlak 20 N



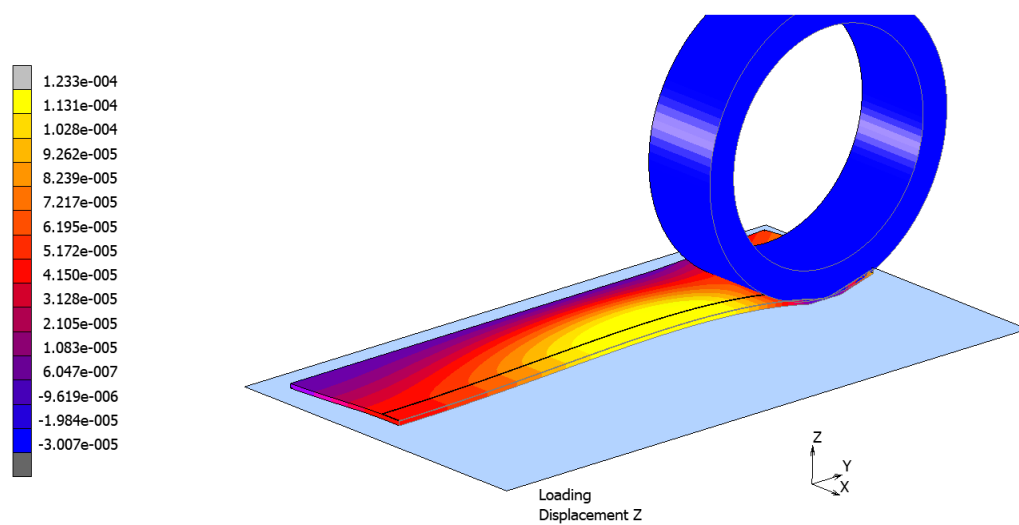
Obr. 3.5 Začátek válcování, přítlak 30 N



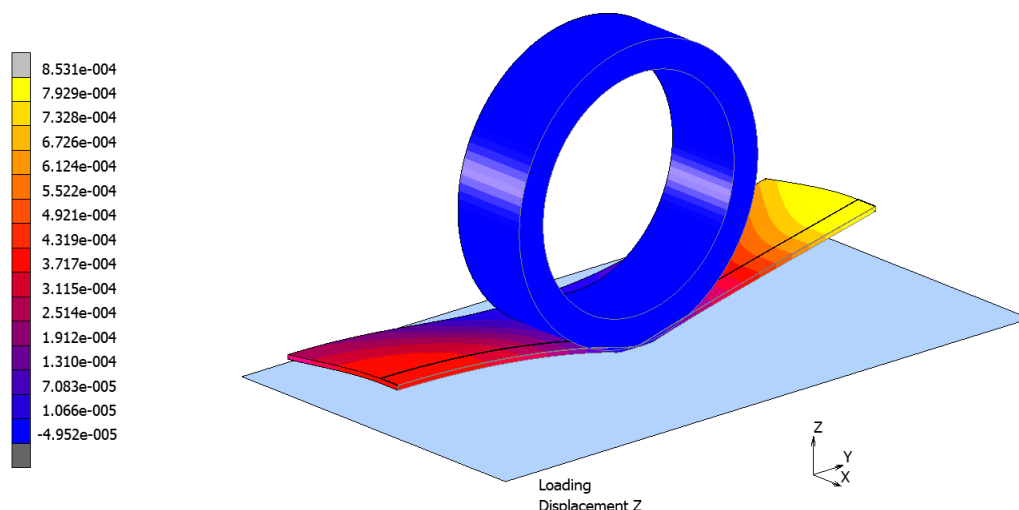
Obr. 3.6 Konec válcování, přítlak 30 N



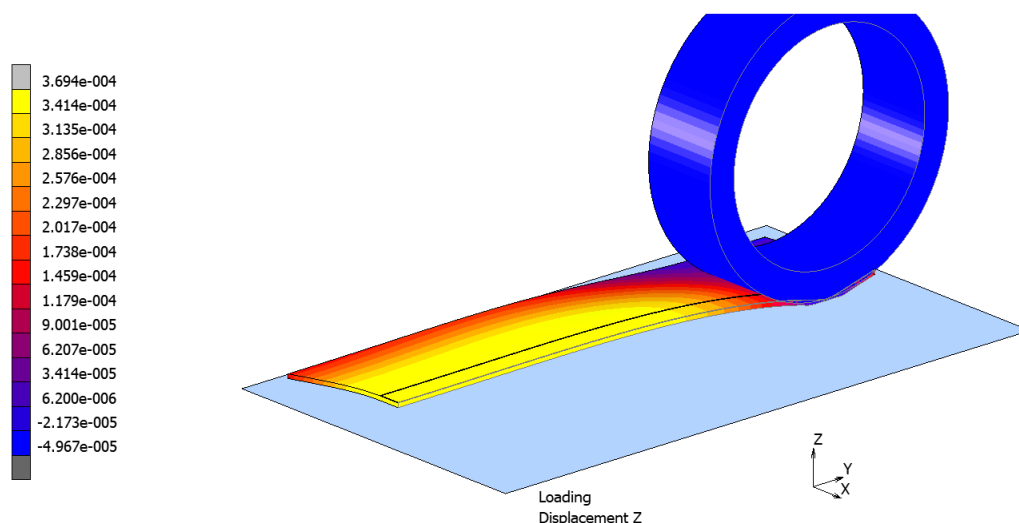
Obr. 3.7 Začátek válcování, přítlak 60 N



Obr. 3.8 Konec válcování, přítlak 60 N

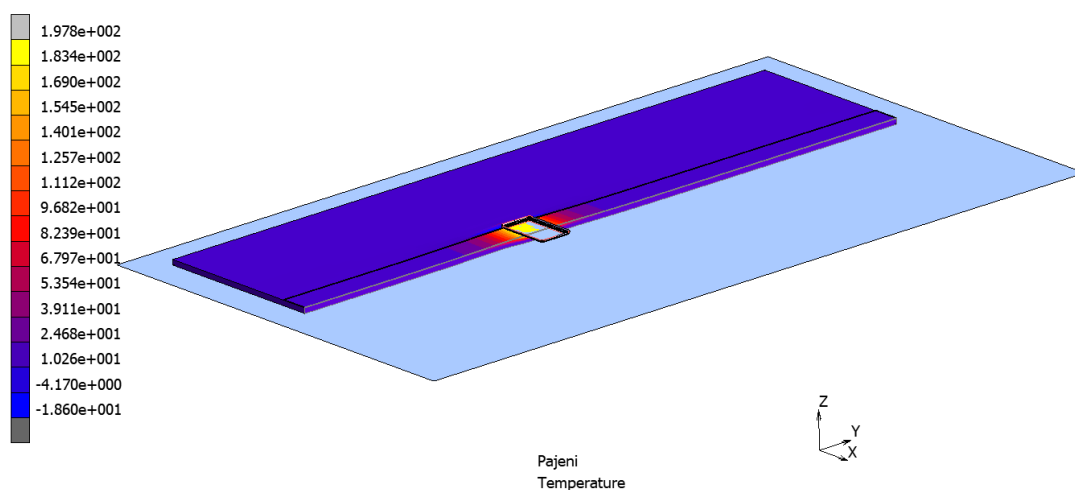


Obr. 3.9 *Začátek válcování, přítlak 100 N*

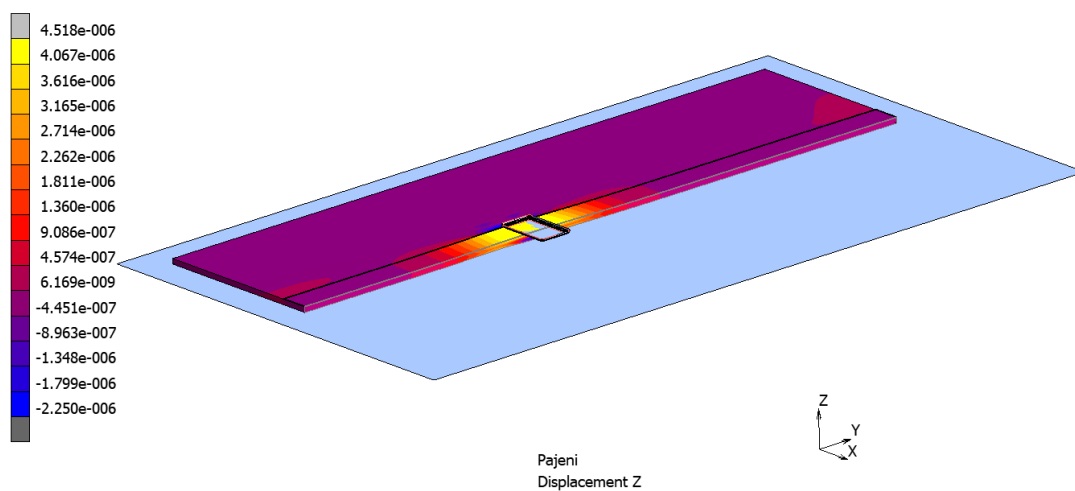


Obr. 3.10 *Konec válcování, přítlak 100 N*

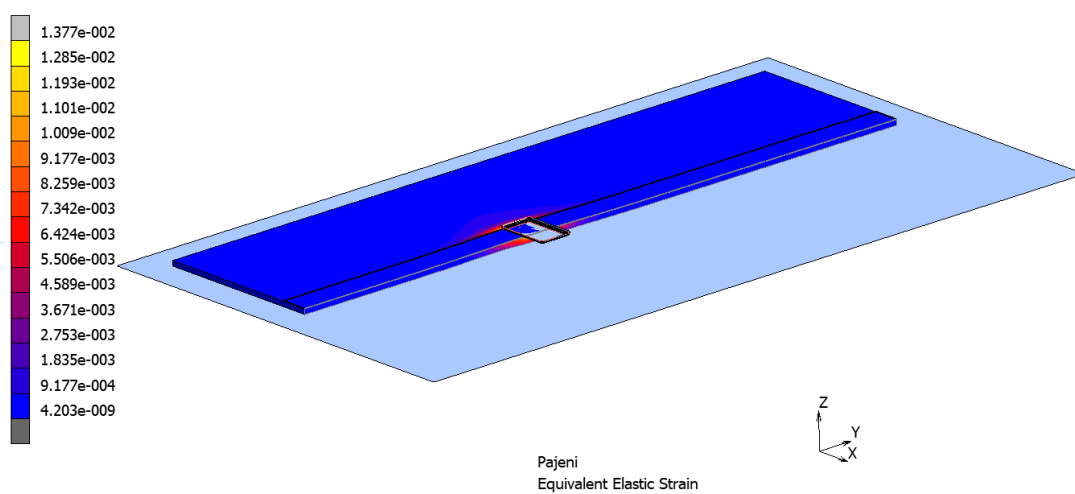
Ve druhé fázi byl navržen počítačový model procesu pájení bočního konektoru na předem nalepenou měděnou sběrnici. Model je prezentován vzorkem fólie s rozměrem $50 \times 100 \times 0,76 \text{ mm}$ a respektuje jak geometrii pájecího hrotu, tak letovaného spoje, resp. pájených dílů, tj. sběrnice ($8 \times 0,1 \text{ mm}$) a konektoru ($22 \times 0,1 \text{ mm}$). Snahou bylo i přes jednoznačnou složitost řešené problematiky vytvořit komplexní model zahrnující i teplotní parametry procesu (okolní teplota, teplota pájecího hrotu, přestup tepla, teplotní roztažnost atd.) a silové poměry na rozhraní kontaktujících těles (pájecí hrot – konektor – Cu páska – PVB fólie), které jsou charakterizovány úrovní přítlaku pájecího hrotu. Během výpočtu byl uvažován přítlak na úrovni 3 N . Cílem počítačové simulace bylo prokázat, nebo naopak vyvrátit, nutnost válcování kontaktu těsně po jeho vytvoření, popřípadě odhadnout dobu relaxace, během které přejde zahřátá fólie do výchozího stavu.



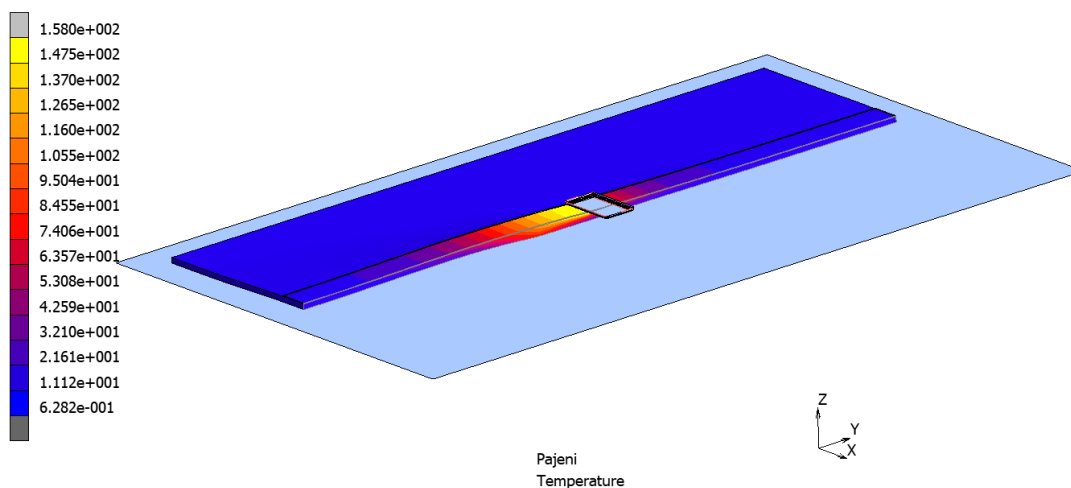
Obr. 3.11 Začátek pájení – Teplotní pole



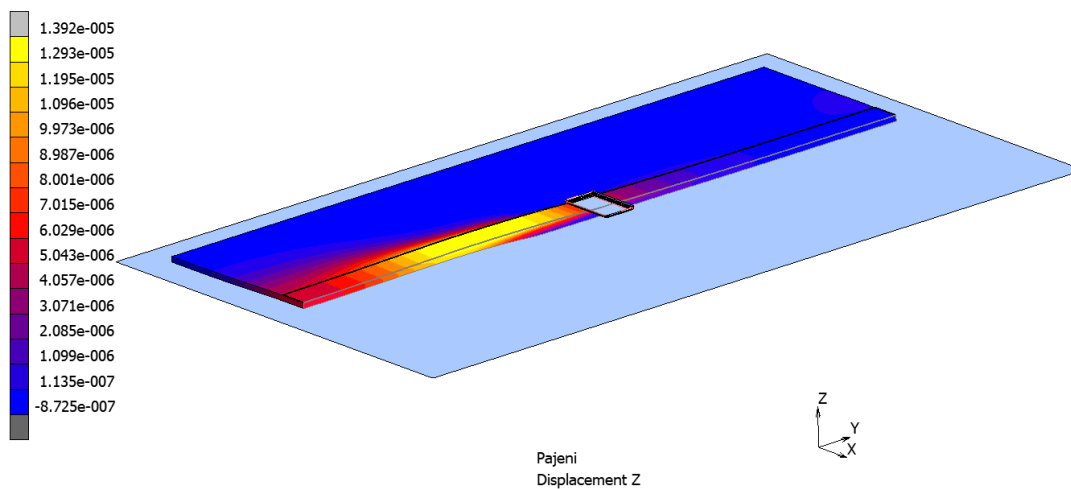
Obr. 3.12 Začátek pájení – Deformační polev ose Z



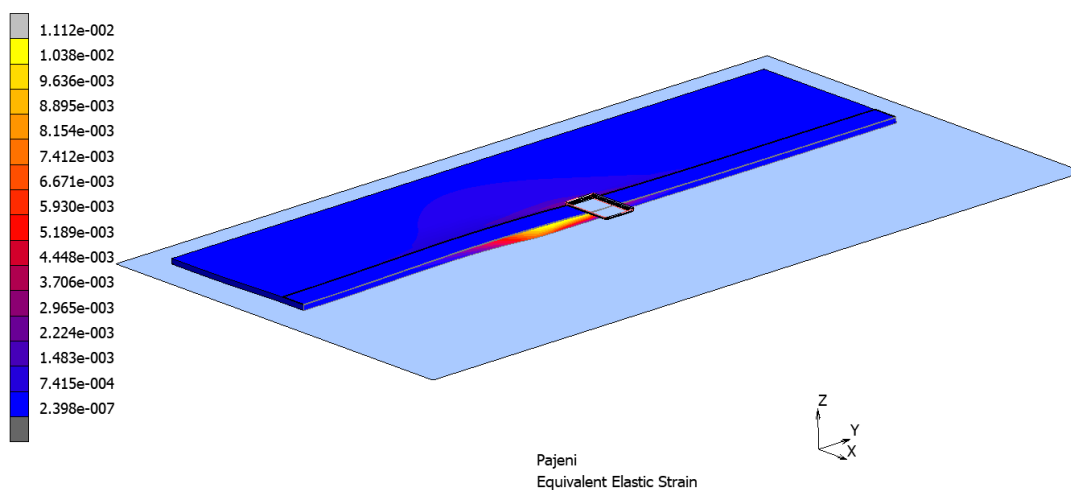
Obr. 3.13 Začátek pájení – Napěťové pole



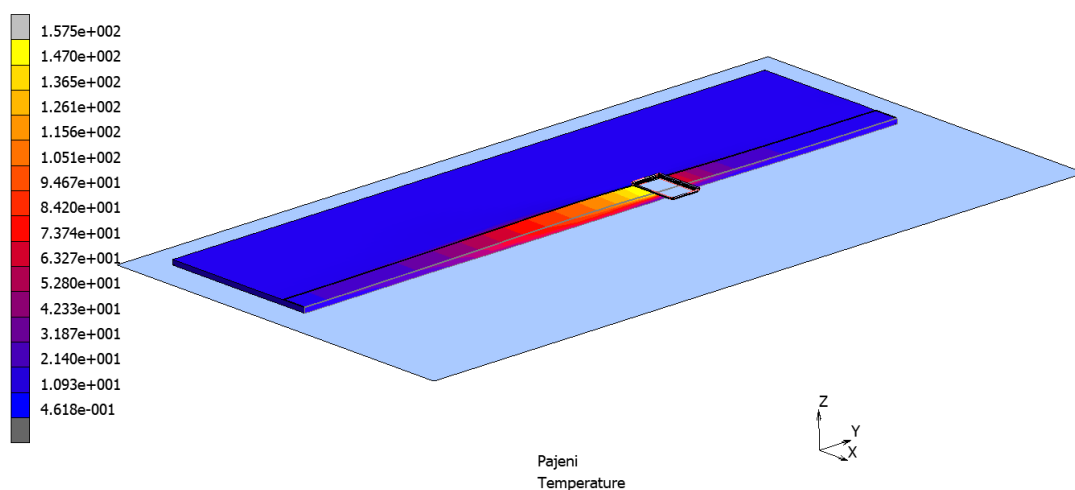
Obr. 3.14 V průběhu pájení – Teplotní pole



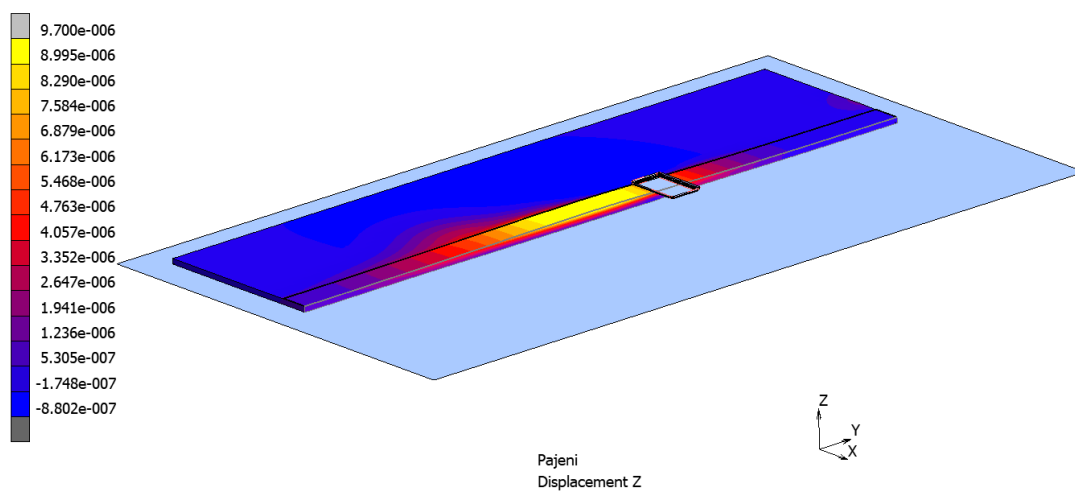
Obr. 3.15 V průběhu pájení – Deformační pole v ose Z



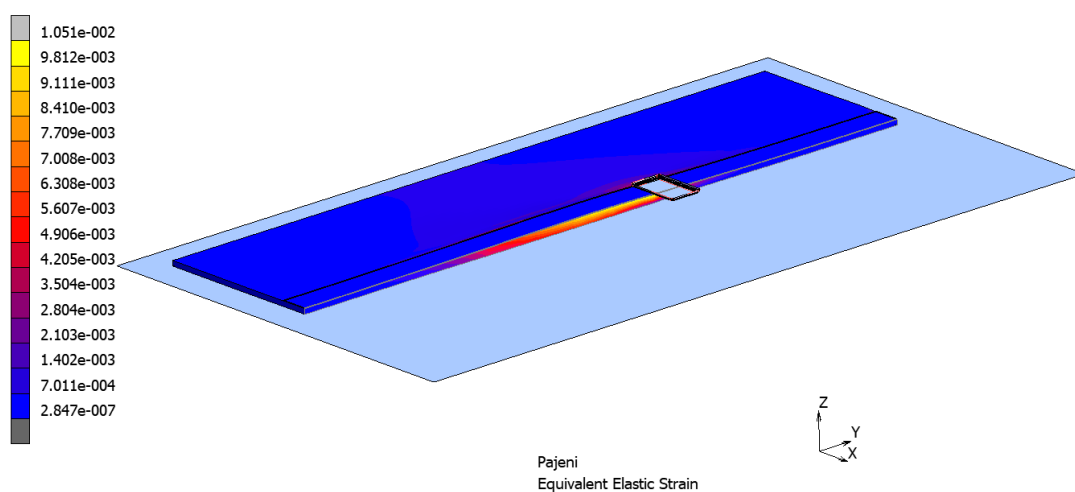
Obr. 3.16 V průběhu pájení – Napětové pole



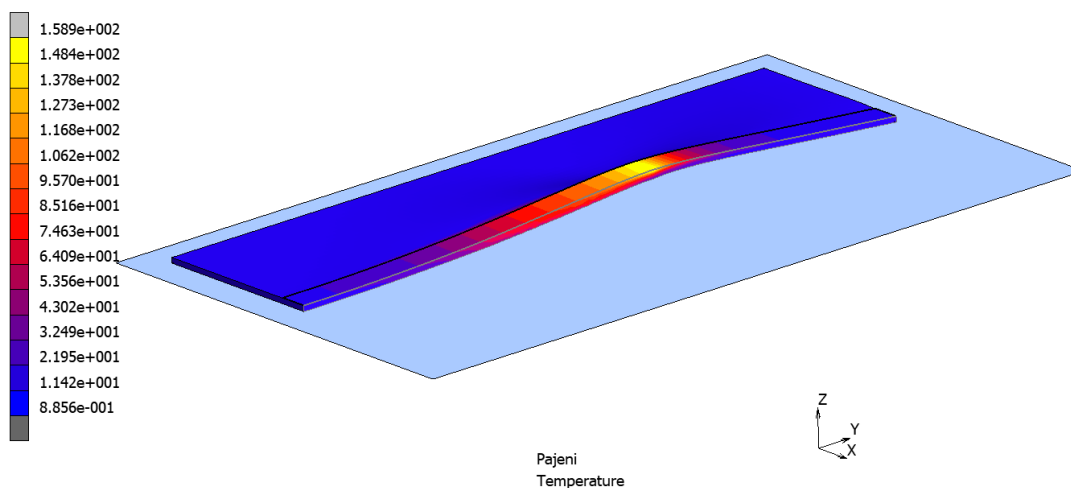
Obr. 3.17 Konec pájení – Teplotní pole



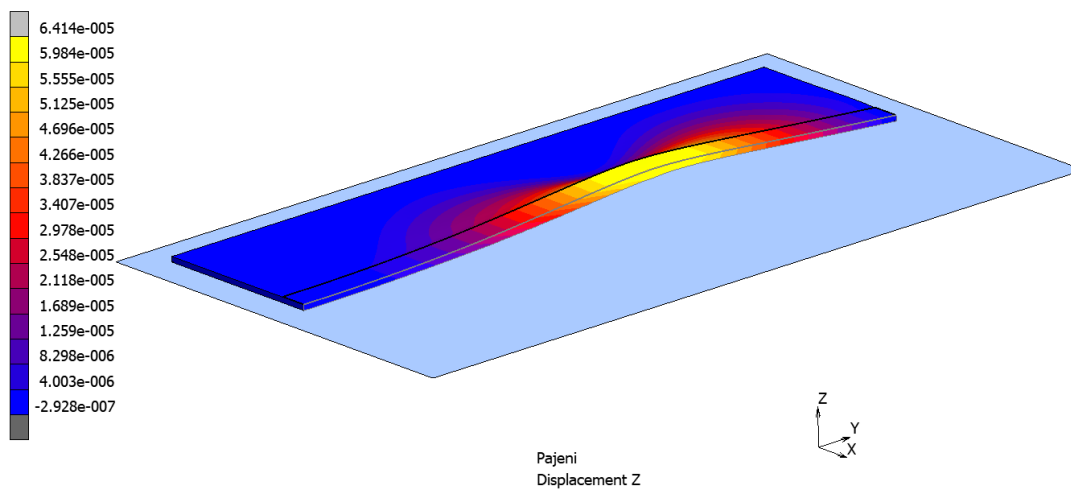
Obr. 3.18 Konec pájení – Deformační pole v ose Z



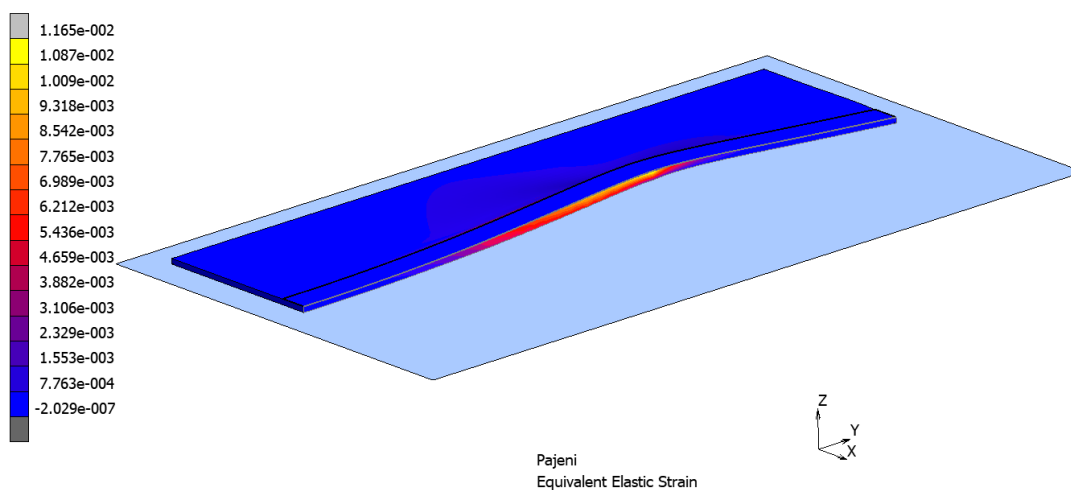
Obr. 3.19 Konec pájení – Napětové pole



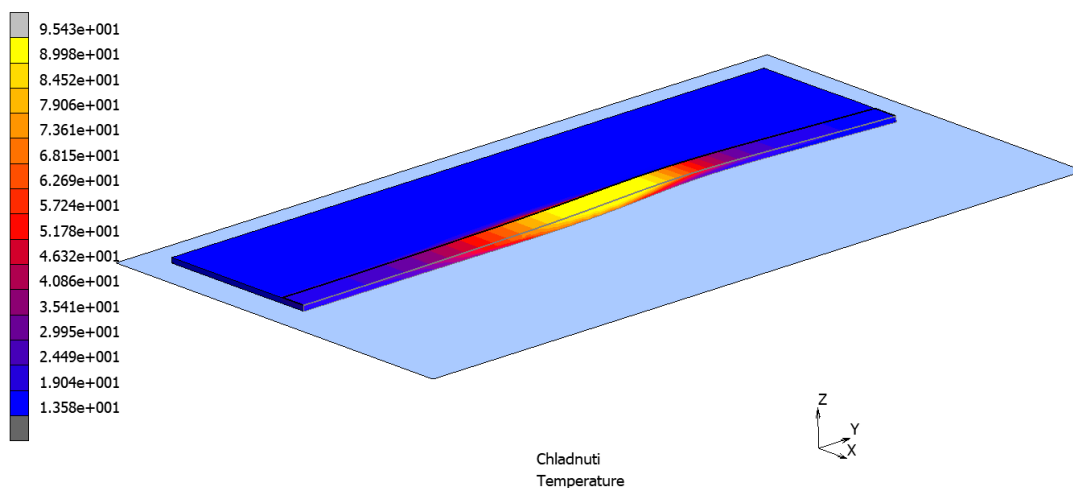
Obr. 3.20 Výjezd pájecího hrotu z kontaktu – Teplotní pole



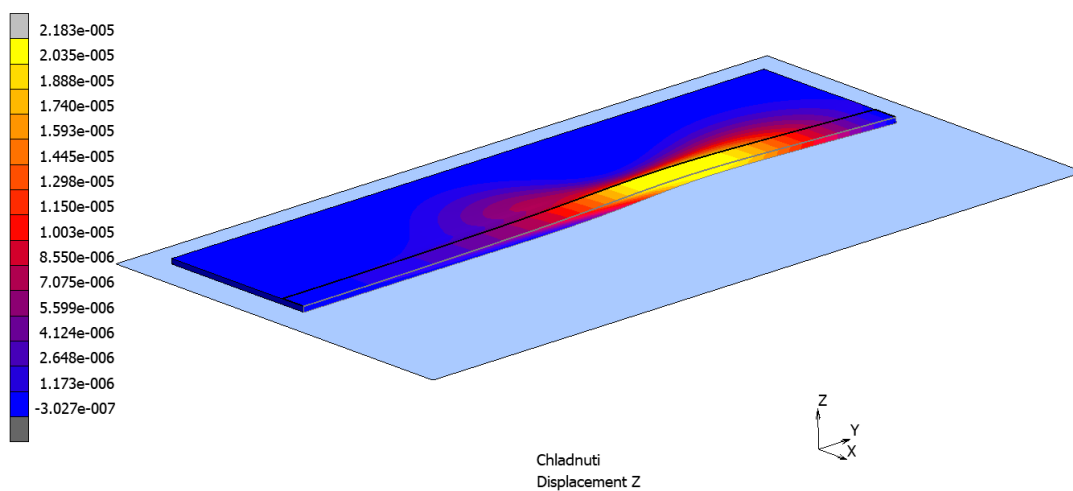
Obr. 3.21 Výjezd pájecího hrotu z kontaktu – Deformační pole v ose Z



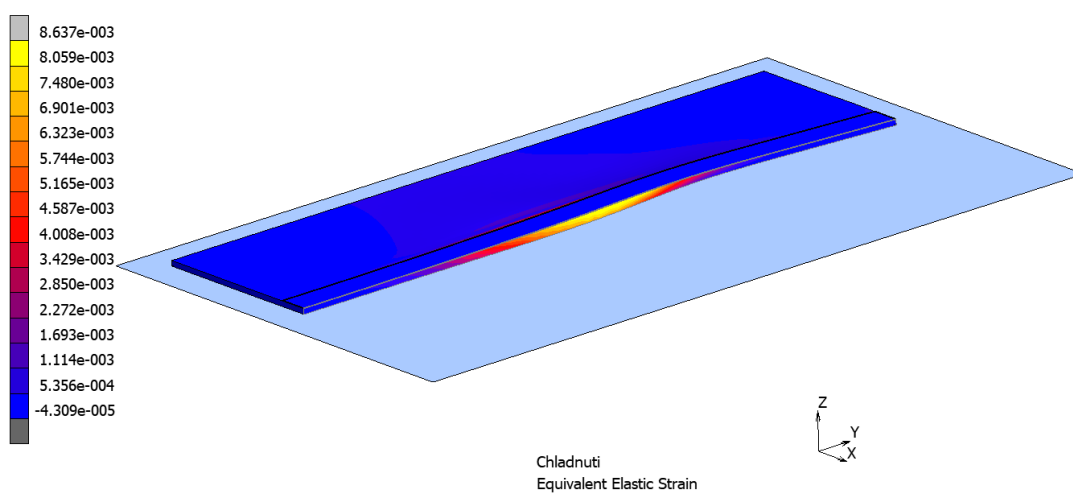
Obr. 3.22 Výjezd pájecího hrotu z konatktu – Napětové pole



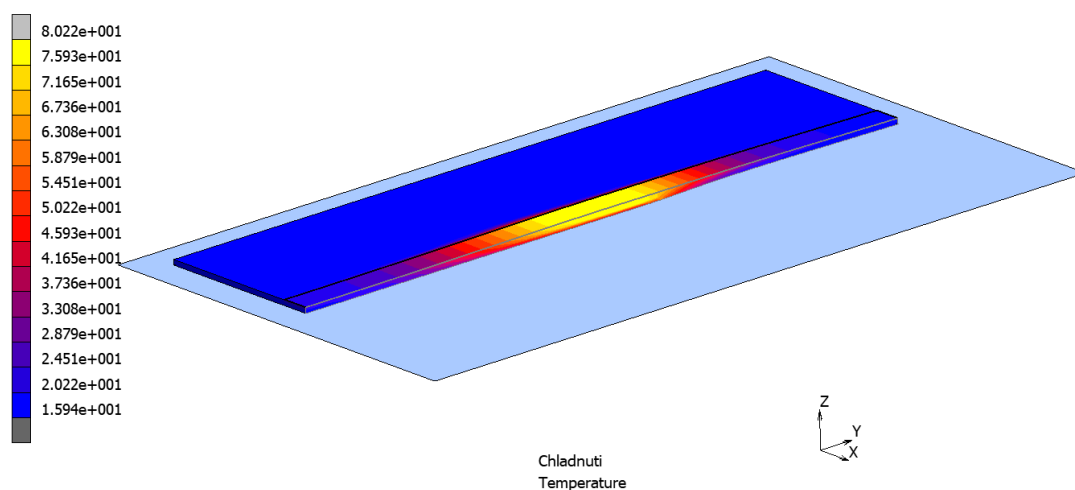
Obr. 3.23 Proces chladnutí v čase 0,5 s – Teplotní pole



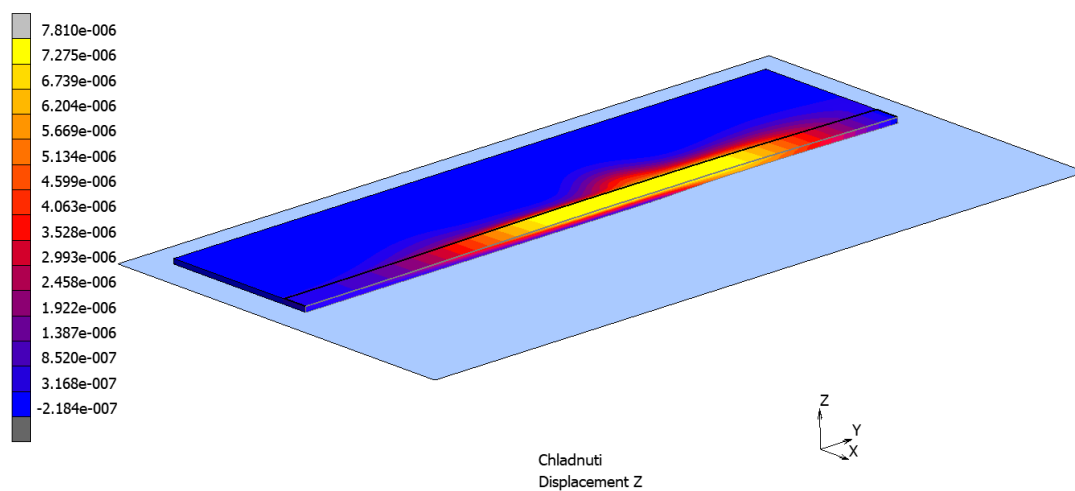
Obr. 3.24 Proces chladnutí v čase 0,5 s – Deformační pole v ose Z



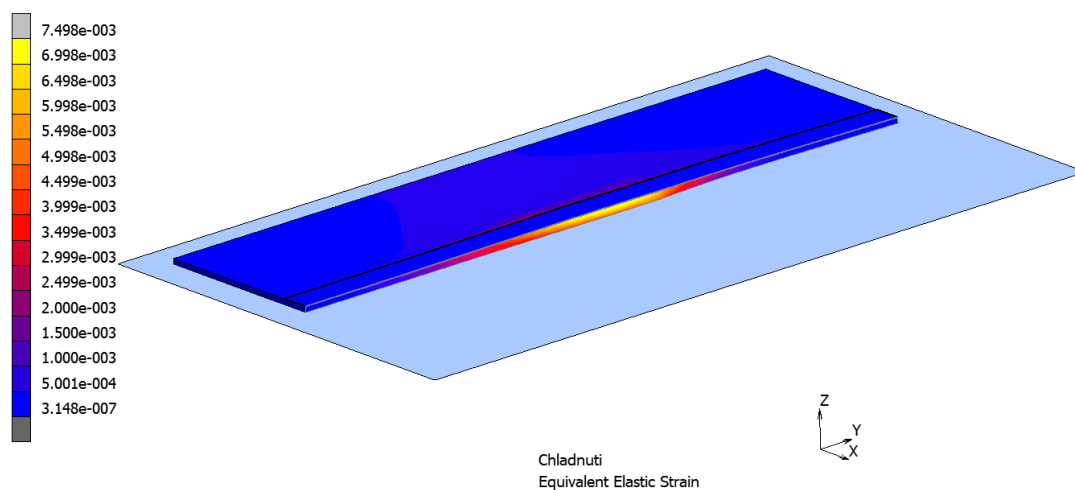
Obr. 3.25 Proces chladnutí v čase 0,5 s – Napětové pole



Obr. 3.26 Proces chladnutí v čase 1,0 s – Teplotní pole



Obr. 3.27 Proces chladnutí v čase 1,0 s – Deformační pole v ose Z



Obr. 3.28 Proces chladnutí v čase 1,0 s – Napěťové pole

Na *obr. 3.11 až 3.28* jsou uvedeny výstupy z počítačové simulace pájecího procesu, které postupně ukazují průběh teplotních, deformačních a napěťových polí v PVB fólii v závislosti na čase, který odpovídá jednotlivým fázím procesu na začátku, středu a konci pájené oblasti odpovídající šířce konektoru. Referenční hodnoty teplot jsou závislé na provozní teplotě pájecího hrotu, která byla nastavena na cca 270 °C. Dominantní roli rovněž hraje kontaktní součinitel přestupu tepla mezi hrotem a Cu páskou (konektorem), který byl uvažován za téměř ideální a byl na hodnotě $12\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Mezi PVB fólií a deskou pracovního stolu byl součinitel přestupu tepla z důvodu předpokládaného nedokonalého kontaktu snížen na úroveň $2\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Významným parametrem ovlivňujícím deformace v tloušťce fólie je pak teplotní součinitel roztažnosti (a to jak PVB materiálu, tak Cu), který se jednoznačným způsobem projevuje na deformacích v kolmém směru k ploše fólie. Vlastní proces pájení, který probíhá přímo na fólii, lze označit za problematický vzhledem k tomu, že už při poměrně nízkých teplotách vykazuje fólie výrazné reologické chování, tj. „teče“ a nadměrný přtlak a následné válcování místa spoje vede k nadměrnému zaválcování spoje do materiálu, což zvyšuje pravděpodobnost nedokonalého kontaktu s funkční vrstvou automobilového skla. Značné deformační nestability vznikají ve fázi výjezdu pájecího hrotu z kontaktu, kdy zahřátá fólie a páska reaguje na odlehčení následným zdeformováním. Po vyrovnání teplot v průběhu samovolného chlazení dochází cca po 30 s ke stabilizaci geometrie a není nutné proces doplňovat dodatečným válčováním, které je spíše kontraproduktivní.

4 Napěťová pole v plochém skle během procesu kalení

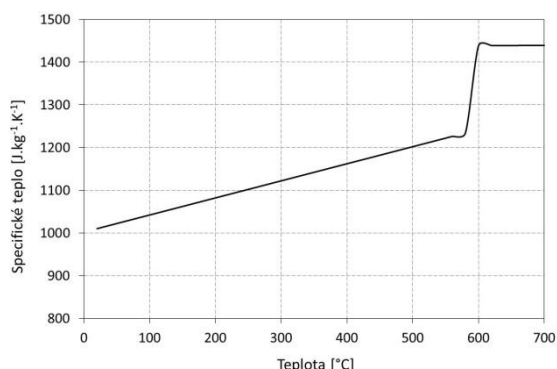
Kalená bezpečnostní skla dnes mají široké uplatnění a jsou běžně aplikována ve stavebním a automobilovém průmyslu ve výrobě bočních autoskel, která jsou mnohdy charakteristická komplikovanou geometrií. Pro zabudování do příslušného systému jsou navíc opatřována soustavou otvorů pro připojení periferních závěsů vrtaných v blízkosti hran skla a způsobují v kombinaci s dalšími vlivy (kvalita opracování hrany skla, otvoru, průběh manipulace) problémy v kalicím procesu. Cílem počítačové simulace bylo analyzovat průběh pnutí ve skle během kalení a prověřit, zda má geometrie a poloha vrtaných otvorů dominantní vliv na charakter napětí a může být příčinou destrukce skla.

Pro simulaci kalicího procesu byl vytvořen počítačový model skleněné desky s rozměry $300 \times 300 \times 3,15 \text{ mm}$ a v ose vyvrtaným otvorem o průměru $27,2 \text{ mm}$ ve vzdálenosti $12,7 \text{ mm}$, $27,2 \text{ mm}$ (tj. průměru otvoru) a $40,8 \text{ mm}$, což odpovídá 1,5 násobku průměru a je v relaci s obecnými doporučeními pro umístění vrtaných otvorů v praxi. Použité materiálové konstanty jsou shrnuty v tab. 4.1.

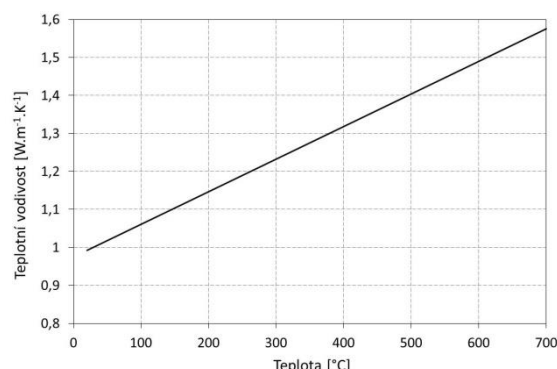
Tab. 4.1 Materiálové a teplotní konstanty reologického modelu skla

Hustota [kg.m ⁻³]		2 500			
Modul pružnosti [Pa]		7,2.10 ¹⁰			
Poissonova konstanta [-]		0,2			
Prony sériový reologický model					
Deviatorická část		Objemová část		Parametry Narayanaswamy strukturální relaxace	
Relaxace [s]	Smykový modul [Pa]	Relaxace [s]	Objemový modul [Pa]	Relaxace [s]	Váhový fakt. [-]
6,658.10 ⁻⁵	1,585.10 ⁹	5,009.10 ⁻⁵	7,588.10 ⁸	0,00005965	0,05523
0,001197	2,354.10 ⁹	0,0009945	7,65.10 ⁸	0,01077	0,08205
0,01514	3,486.10 ⁹	0,002022	9,806.10 ⁸	0,1362	0,1215
0,1672	6,558.10 ⁹	0,01925	7,301.10 ⁹	0,1505	0,2286
0,7497	8,205.10 ⁹	0,1199	1,347.10 ¹⁰	6,747	0,286
3,292	6,498.10 ⁹	2,033	1,09.10 ¹⁰	29,63	0,2265
Referenční teplota [°C]		596			
Počáteční teplota [°C]		670			
Okolní teplota [°C]		24			
Poměr aktivační energie a plynové konstanty [K]		55 000			
Teplotní roztažnost skla [K ⁻¹]		9.10 ⁻⁶			
Teplotní roztažnost skloviny [K ⁻¹]		2,7.10 ⁻⁵			

Parametry specifického tepla a teplotní vodivosti byly definovány v závislosti na teplotě a jejich hodnoty (průběhy) jsou uvedeny v grafech na *obr. 4.1* a *4.2*.



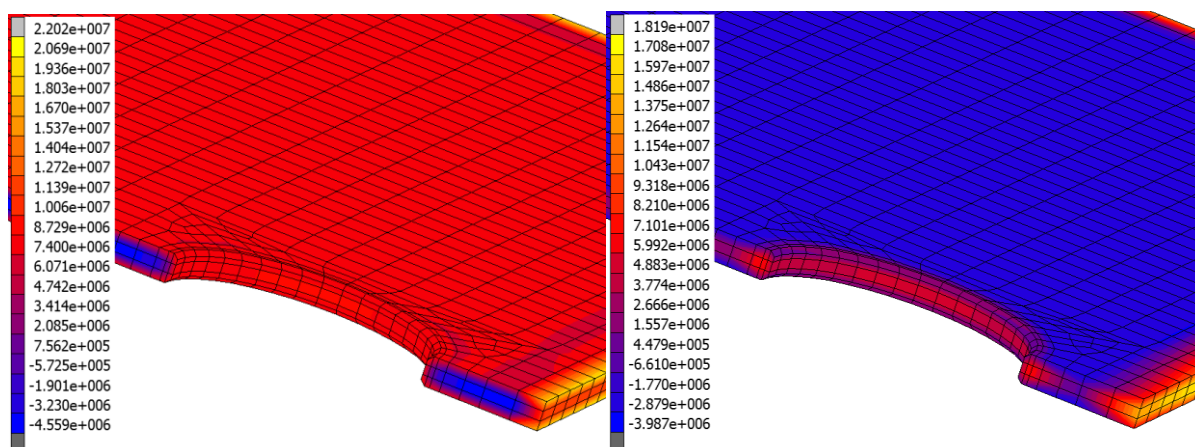
Obr. 4.1 Specifické teplo



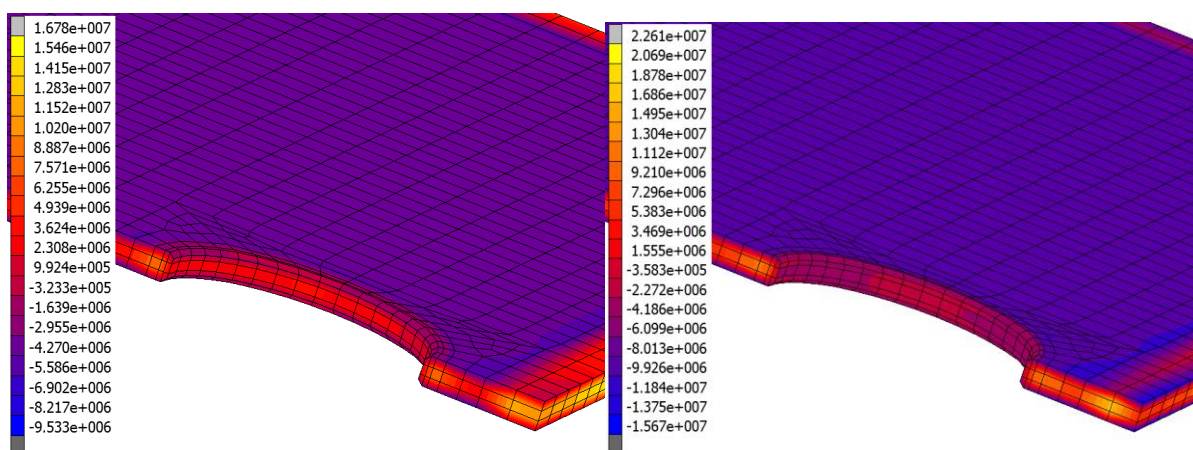
Obr. 4.2 Teplotní vodivost

Koeficient přestupu tepla byl zadán v intervalu od 100 do $220 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ tak, že na horní a dolní ploše desky byl uplatněn koeficient $220 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, na bocích desky a vnitřní ploše otvoru bylo $160 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a na ploše kuželového zahloubení pak $100 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Uvedeným parametrům odpovídají výsledky simulace, které jsou shrnuty na *obr. 4.3* až *4.11* a ukazují rozložení napěťových polí ve zvolených časech procesu kalení.

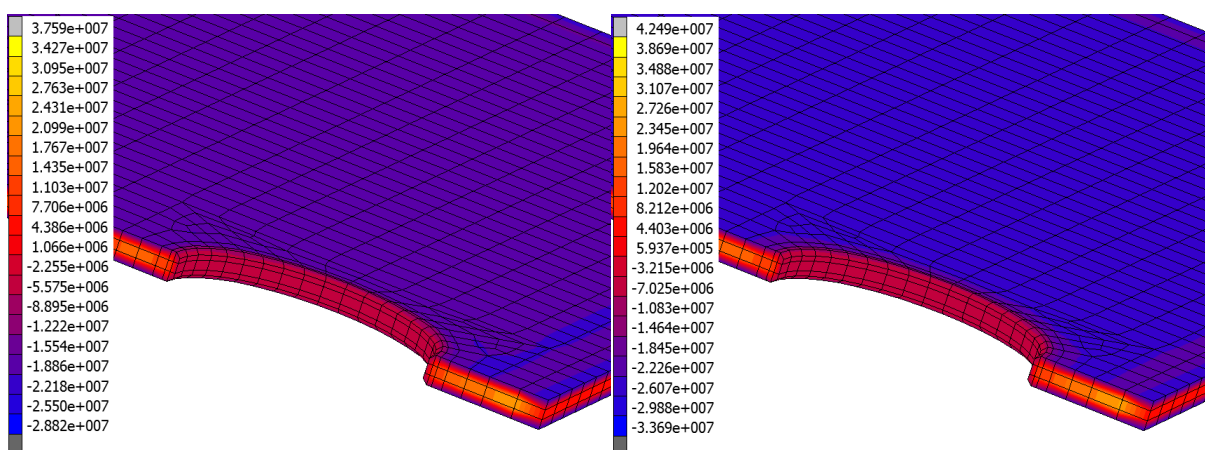
Grafické výstupy ukazují charakteristický postupný přechod původně tahového napětí na tlakové v časovém intervalu od 0 do 60 s , ve kterých se rovněž ukazuje, že velmi problematickým místem podílejícím se na vzniku trhlin a následné destrukci skla může být kromě vyvrtaných otvorů i nekvalitně opracovaná hrana skla tak, jak je vidět např. na *obr. 4.3*, *4.6* a *4.9*.



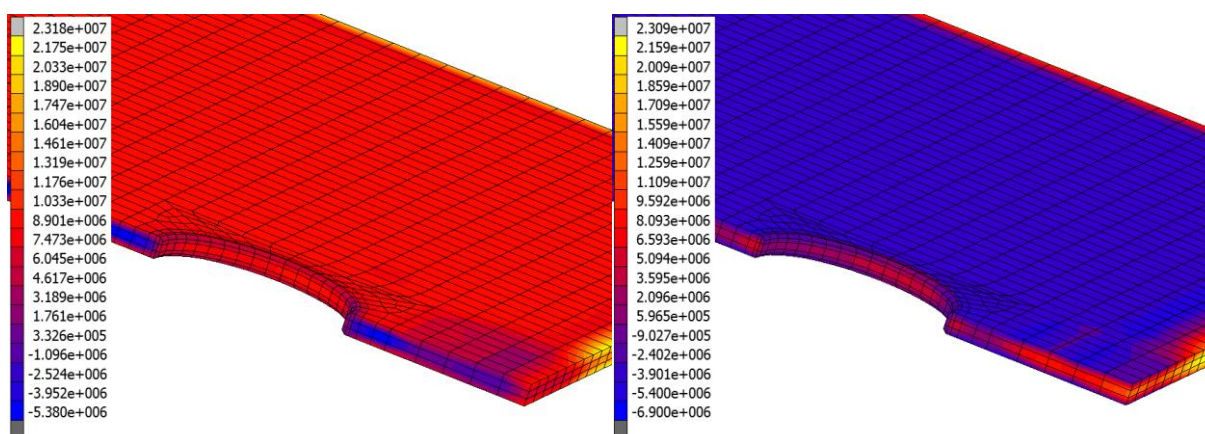
Obr. 4.3 Maximální napětí ve skle v čase 5 a 10 s pro desku s otvorem 12,7 mm od hrany



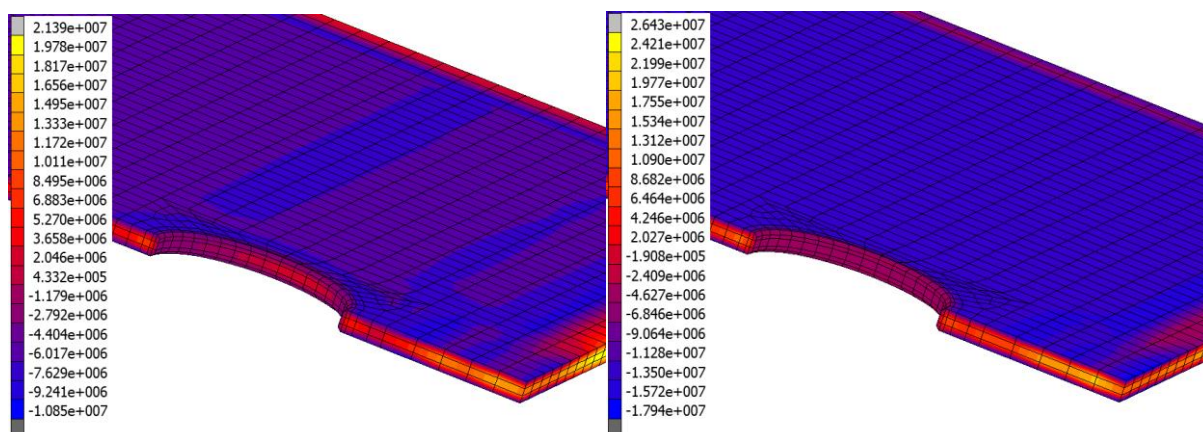
Obr. 4.4 Maximální napětí ve skle v čase 15 a 20 s pro desku s otvorem 12,7 mm od hrany



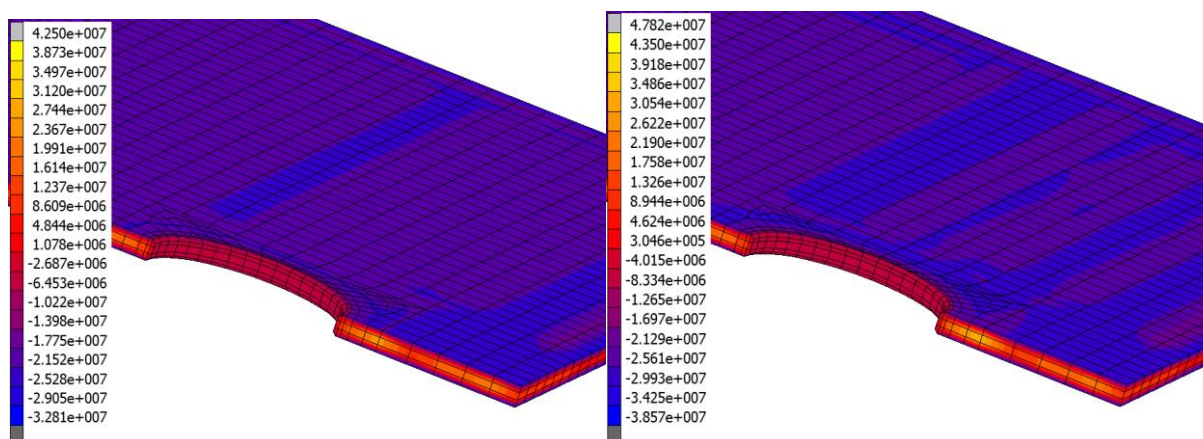
Obr. 4.5 Maximální napětí ve skle v čase 40 a 60 s pro desku s otvorem 12,7 mm od hrany



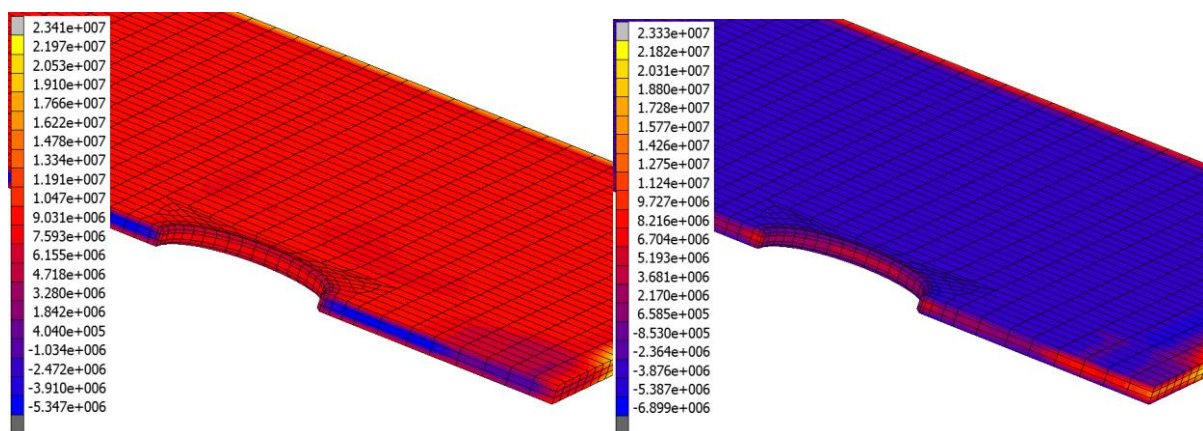
Obr. 4.6 Maximální napětí ve skle v čase 5 a 10 s pro desku s otvorem 27,2 mm od hrany



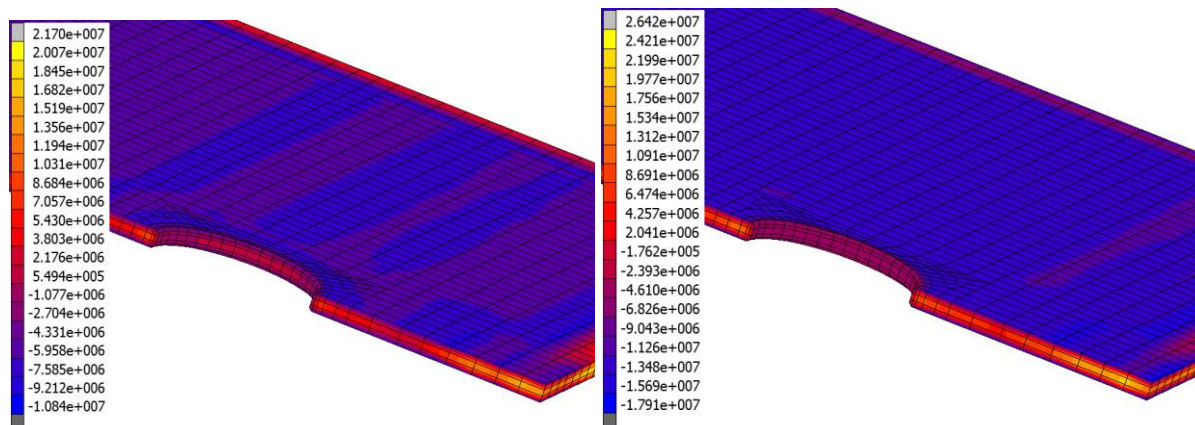
Obr. 4.7 Maximální napětí ve skle v čase 15 a 20 s pro desku s otvorem 27,2 mm od hrany



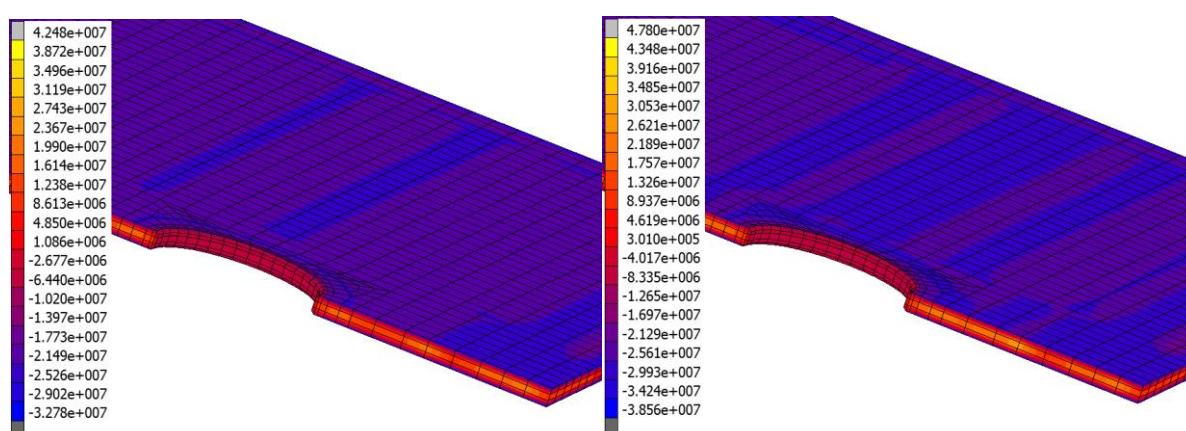
Obr. 4.8 Maximální napětí ve skle v čase 40 a 60 s pro desku s otvorem 27,2 mm od hrany



Obr. 4.9 Maximální napětí ve skle v čase 5 a 10 s pro desku s otvorem 40,8 mm od hrany



Obr. 4.10 Maximální napětí ve skle v čase 15 a 20 s pro desku s otvorem 40,8 mm od hrany



Obr. 4.11 Maximální napětí ve skle v čase 40 a 60 s pro desku s otvorem 40,8 mm od hrany

Postupný vývoj přechodového napětí na uvedených obrázcích podrobně mapuje rozložení absolutních hodnot maximálního napětí ve vybraných řezech v čase od 5 do 60 s a je zřejmé, že pokud skleněná deska není zatížena prvotními inicializačními vrypy, příp. trhlinami vzniklými během manipulace se sklem, technologických operací apod., pak by měl celý kalicí proces proběhnout bez destrukce skla.

Potvrdilo se také, že ani obecně doporučovaná minimální hodnota cca 12 mm vzdálenosti hrany otvoru od hrany tabule skla není za ideálních podmínek iniciátorem lomu skla a nedochází k překrytům napěťových polí tak, aby se mohla sčítat, což by v konečném důsledku vedlo k extrémnímu nárůstu absolutních hodnot maximálního napětí.

5 Chronologický přehled publikací a výsledků autora

- [1] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Robot Handling with Glass Presslings by hot end of lehr. In: *Proceedings of annotations*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2000, s. 40-41, ISBN 80-7078-799-6.
- [2] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Gripping of Hot Glass Pressings. In: *Proceedings of 8th International conference on the Theory of Machines and Mechanisms*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2000, s. 557-563, ISBN 80-7073-418-8.
- [3] NOVOTNÝ, František, Aleš CHOMÁT a Marcel HORÁK. Laboratory Robot with Inteligent Pneumatic. In: *Proceedings of annotations*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2000, s. 39-40, ISBN 80-7078-799-6.
- [4] HORÁK, Marcel. Modelování kontaktu poddajných úchopných prvků se žhavým objektem ze skla. In: *XIII. vědecké sympozium TU Liberec – TU Dresden*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, s. 173-178. ISBN 80-7083-469-2.
- [5] NOVOTNÝ, František. Adaptivní úchopné hlavice s kombinovaným pohonem pro uchopování žhavého skla. In: *XIII. vědecké sympozium TU Liberec – TU Dresden*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, s. 167-172. ISBN 80-7083-469-2.
- [6] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Vacuum Grippers in the Glass Industry. In: *16th International Conference in Production Research*. Praha, 2001, s. 169. ISBN 80-02-01438-3.
- [7] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Simulation of Oscillations during the Handling of Thin Glass Sheets. In: *Proceedings of International Carpathian Control Conference*. Krynica, Poland: Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH Krakowie, 2001, s. 197-204. ISBN 83-91340-07-4.
- [8] HORÁK, Marcel. Počítačová simulace robotizované manipulace s výrobky ze skla. In: *Sborník přednášek - 11. Česká konference o skle*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002, s. 142-146, ISBN 80-02-01480-4.
- [9] NOVOTNÝ, František, Ivo MATOUŠEK, Marcel HORÁK a Vlastimil HOTAŘ. Uplatnění počítačového modelování ve sklářské výrobě. In: *Vědecká pojednání, Liberec, Zittau, Jelenia Góra*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002, s. 259-272. ISBN 80-7083-628-8.
- [10] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Numerical Model of Contact Compliant Gripping Element with an Object of Handling. In: FARANA, Radim a Lubomír SMUTNÝ. *Proceedings of 3rd International Carpathian Control Conference*. 1. Ostrava: Technical University of Ostrava, 2002, s. 691-696. ISBN 80-248-0089-6.
- [11] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Stability of Gripping of the Object by Means of Vacuum Gripper. In: *Konference ROBTEP 2002*. Košice, Slovenská republika, 2002, s. 285- 292. ISBN 80-7099-826-1.
- [12] HORÁK, Marcel a Martin LACHMAN. Experimentální analýza kmitů tenkých desek během manipulace. In: *Dynamika strojů 2003*. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR, 2003, s. 57-60. ISBN 80-85918-81-1.

- [13] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Počítačová simulace robotizované manipulace s výrobky ze skla. Sklář a keramik. 2003, **53**(7-8). ISSN 0037-637X.
- [14] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Martin LACHMAN. Experimental Measurements of Thin Glass sheet Oscillations during Handling for Verification of the Numerical Model. In: PODLUBNÝ, Igor a Karol KOSTÚR. *Proceedings of 4th International Carpathian Control Conference*. 1. Košice: TU Košice, 2003, s. 84-87. ISBN 80-7099-509-2.
- [15] HORÁK, Marcel. Specifické problémy manipulace s přířezy skla. In: NOVOTNÝ, František. *Sborník přednášek XI. Mezinárodní konference Sklářské stroje*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, s. 119-124. ISBN 80-7083-732-2.
- [16] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Specification of the Numerical Model of Thin Glass Sheet Oscillations. *Acta mechanica Slovaca: Robtep 2003*. 2003, **7**(3), s. 91-96. ISSN 1335-2393.
- [17] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Úchopné hlavice pro šetrnou manipulaci s výlisky ze skla. In: *Proceedings of IX. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, August 31 – Sept. 2, 2004, s. 567-572, ISBN 80-7083-847-7.
- [18] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Mechanical – thermal Stress of Thin Jumbo Format Glass Sheet in Interaction with Stand. In: *Proceedings of 5th International Carpathian Control Conference*. 1. Zakopane, Poland, May 25 – 28, 2004, s. 57-62. ISBN 83-89772-00-0.
- [19] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Vacuum Grippers Optimization. In: *Konference MATAR 2004*. 1. Praha, ČR, 21. – 22. 9. 2004, s. 111-117. ISBN 80-903421-4-0.
- [20] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Michal STARÝ. Application of Industrial Robots on the Hot End of an Automatic Glass Production Line. In: *Proceedings of 13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*. Brno: University of Technology, June 1-6, 2004. ISBN 80-7204-341-2.
- [21] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Chapadla se staticky neurčitým stabilizovaným tvarovým uchopením výlisku ze skla. In: *Konference Setkání ústavů a kateder oboru výrobní stroje a robotika*. Ostrava, 14. – 15. září 2004, s. 19. ISBN 80-248-0645-2.
- [22] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Optimisation of Vacuum Effectors for Handling with Thin Sheets. In: *Proceedings of 6th International Carpathian Control Conference*. 1. Miskolc, Hungary: University of Miskolc, 2005. ISBN 963-661-644-2.
- [23] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Vacuum Grippers Optimisation in Automatic Flat Glass Production. In: *ICPR-18: 18th International Conference on Production Research*. 1. Salerno, Italy, 2005. ISBN 88-87030-96-0.
- [24] HORÁK, Marcel. *Dynamická manipulace s tenkými deskami skla*. Liberec, 2005, 154 s. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [25] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Design of Vacuum Grippers Using Numerical Simulation. *Acta Mechanica Slovaca*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2006, **10**(2-A), 349-356. ISSN 1335-2393.

- [26] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Automatická manipulace s tenkými tabulemi skla. *Sklář a keramik*. 2006, **56**(9), s. 173-178. ISSN 0037-637X.
- [27] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Automatizovaná manipulace s tenkými deskami skla. *Sklář a keramik*. 2006, **56C**, s. 149-156. ISSN 0037-637X.
- [28] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. K efektivnímu využívání grafitových forem pro výrobu foukaného skla. *Sklář a keramik*. 2006, **56**(9), s. 192-197. ISSN 0037-637X.
- [29] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Formy z porézního grafitu pro výrobu foukaného sortimentu skla. *Sklář a keramik*. 2006, **56C**, s. 45-46. 192-197. ISSN 0037-637X.
- [30] LACHMAN, Martin, Zdeněk MOTL a Marcel HORÁK. Simulace a řízení servopneumatického polohovacího systému. *Sklář a keramik*. 2006, **56C**, s. 143-148. ISSN 0037-637X.
- [31] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Robotizovaná manipulace na teplém konci výrobní linky na tvarování užitkového skla. In: *Stretnutie ústavov a katedier výrobnej techniky a robotiky ČR a SR 2006*. 1. Košice, 29. – 30. máj 2006, s. 33-36. ISBN 80-8073-560-3.
- [32] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Automatická manipulace ve výrobě a zpracování plochého skla. In: *Stretnutie ústavov a katedier výrobnej techniky a robotiky ČR a SR 2006*. 1. Košice, 29. – 30. máj 2006, s. 29-32. ISBN 80-8073-560-3.
- [33] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Michal OBST. Design Study of Service Robot Chassis for Motion on Glass Vertical Wall. In: *Proceedings of 8th International Carpathian Control Conference*. Košice: Technical University of Košice, 2007, s. 492 – 495. ISBN 978-80-8073-805-1.
- [34] MACHYTKA, Josef, Marcel HORÁK a František Novotný. Control Conception of the Service Robot Mobile Platform. In: *Proceedings of 5th International PhD Conference on Mechanical Engineering – PhD 2007*. Pilsen: Západočeská univerzita v Plzni, 2007, s. 145 – 148. ISBN 978-80-7043-597-7.
- [35] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Autonomous Robotic Mobile Platform. In: *Proceedings of XVI. Mezinárodní vědecké sympózium TU Liberec – TU Dresden*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, ISBN 978-80-7372-247-0 - tištěná anotace, ISBN: 978-80-7372-248-7 – CD.
- [36] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Experimentální analýza frikčních poměrů na rozhraní sklo – úchopný prvek. In: *Setkání kateder výrobních strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2007, s. 35 – 39. ISBN 978-80-7043-598-4.
- [37] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Automatizace čištění skleněného opláštění výškových budov. In: *Setkání kateder výrobních strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2007, s. 66 – 70. ISBN 978-80-7043-598-4.
- [38] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Zdeněk HORT. Robotizovaná manipulace při výrobě automobilových skel. In: *Setkání kateder výrobních strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2007, s. 35 – 39. ISBN 978-80-7043-598-4.

- [39] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Service Robots for Building Glass Facades Cleaning. *Acta Mechanica Slovaca*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2008, **12**(2-A), s. 273-276. ISSN 1335-2393.
- [40] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Robotic Handling of Jumbo Flat Glass Sheets. *Acta Mechanica Slovaca*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2008, **12**(2-A), s. 413-418. ISSN 1335-2393.
- [41] HORÁK, Marcel. Robot Handling in Automatic Flat Glass Production. *Acta Mechanica Slovaca*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2008, **12**(2-A), s. 419-430. ISSN 1335-2393.
- [42] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Automatic Handling of Thin Sheet Glass. *Glass International*. June 2008, **31**(5), s. 42-46. ISSN 0143-7838.
- [43] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Robotic Handling in Flat Glass Production. In: *Proceedings of 9th International Carpathian Control Conference*. Sinaia: University of Craiova, Romania, 2008, s. 223 – 226. ISBN 978-973-746-897-0.
- [44] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Industrial Robots in Automatic Glass Production. In: *Proceedings of 3rd International Conference „Optimization of the Robots and Manipulators“ OPTIROB 2008*. Predeal, Romania, 30 May – 1 June 2008, s. 283-288. ISBN 978-973-648-784-2.
- [45] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Petr HENYŠ. Optimalizace sonotrody pro vrtání skla ultrazvukem. In: *Setkání kateder výrobních strojů a robotiky*. Lednice, ČR, 9. – 10. září 2008, ISBN 978-80-214-3723-4.
- [46] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Průmyslové roboty v automatické výrobě skla. In: *Setkání kateder výrobních strojů a robotiky*. Lednice, ČR, 9. – 10. září 2008, ISBN 978-80-214-3723-4.
- [47] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Parallel Cooperation of Robots during Handling with Jumbo Glass Sheets. *Advanced Materials Research*. 2008, **39-40**, s. 465-468. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.39-40.465. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMR.39-40.465>.
- [48] SALAČ, Petr a Marcel HORÁK. Problem of Determination of Optimal Supports Position for Jumbo Flat Glass with Free Edges. *Advanced Materials Research*. 2008, **39-40**, s. 547-552. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.39-40.547. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMR.39-40.547>.
- [49] HORÁK, Marcel. *Dynamická manipulace s plochým sklem*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-425-2.
- [50] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Computer Modelling of suction cups used for window cleaning robot and automatic handling of glass sheets. *MM Science Journal*. 2009, **2009**(02), s. 113-118. DOI: 10.17973/MMSJ.2009_06_20090304. ISSN 18031269. Dostupné také z: <http://www.mmscience.eu/june-2009.html#20090304>.
- [51] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Analýza zatížení přísavek robotů pro pohyb na skleněných stěnách. *Acta Mechanica Slovaca*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2009, **13**(2-A), s. 147-152. ISSN 1335-2393.

- [52] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Deformation Analysis of Suction Cup under Combined Load. In: *Proceedings of 10th International Carpathian Control Conference*. Zakopane: University of Science and Technology. Poland, May, 24-27, 2009. s. 403-406. ISBN 83-89772-51-5.
- [53] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Service Robot for Glass Wall Cleaning. In: *Proceedings of 4nd International Conference „Optimization of the Robots and Manipulators“ OPTIROB 2009*. Constanta-Mamaia: University „POLITEHNICA“ of Bucharest, 28-31 May 2009, Bren Publishing House, Romania, s. 217-220. ISSN 2066-3854.
- [54] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Analýza výkonového členu ultrazvukového generátoru. In: *Stretnutie katedier výrobných strojov a robotiky 2009*. Trenčín: Trenčianska univerzita A. Dubčeka v Trečíne, Fakulta špeciálnej techniky. 2009, s. 91-95. ISBN 978-80-8075-420-4.
- [55] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Problems of Loading Capacity of Suction Cups in the Radial Direction. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Optimisation of the Robots and Manipulators*. Calimanesti, Romania, 28-30 May, 2010, s. 70-74. DOI: 10.3850/978-981-08-5840-7_S2-4. ISBN 978-981-08-5840-7.
- [56] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK, Michal STARÝ a Jan SLAVÍK. Robotizované čištění vertikálních skleněných stěn. In: *Proceedings ROBTEP 2010*. Bardejov, 7. - 9. 6. 2010, s. 225-228. ISBN: 978-80-553-0427-4.
- [57] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Increases in the Radial Capacity of Vacuum Gripping Elements. *MM Science Journal: Special Edition - 20th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD)*. 2011, (October 5-7), 122-127. ISSN 1803-1269.
- [58] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. The Study of Mechanics of Deformation Behaviour of Service Robots Gripping Systems. In: NÁPRSTEK, Jiří a Cyril FISCHER. *Book of Extended Abstracts: 18th International Conference*. 1. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics, 2012, s. 108-109. ISBN 978-80-86246-39-0.
- [59] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Kombinované úchopné prvky se zvýšenou nosností v radiálním směru. In: *Sborník abstraktů XIII. Mezinárodní konference Sklářské stroje a seminář Kovy ve sklářských technologiích*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 19. září 2012, s. 16.
- [60] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Problems of Loading Capacity of Suction Cups in the Radial Direction. *Advanced Materials Research*. 2012, **463-464**, s. 1291-1294. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.1291. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMR.463-464.1291>.
- [61] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Martin PLAVEC. Service Robot for Motion on the Vertical Oriented Walls. *Applied Mechanics and Materials: Robotics in Theory and Practice*. Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2013, **282**, s. 39-44. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.1000.39. ISSN 1660-9336.

- [62] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Special Gripping Elements for Handling with Flat Objects. *Applied Mechanics and Materials: Robotics in Theory and Practice*. Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2013, **282**, s. 27-32. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.1000.27. ISSN 1660-9336.
- [63] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Michal STARÝ. Mobile Robot for Service Applications on the Vertical Walls. In: *International Congress on Engineering and Technology ICET 2013*. 1. Croatia, 2013, s. 55-60. ISBN 978-80-87670-08-8.
- [64] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Michal STARÝ. ROBOTUL® – servisní robot pro speciální aplikace na hladkých vertikálních stěnách. *Sklář a keramik*. 2013, **63**(9-10), 214-221. ISSN 0037-637X.
- [65] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Zbyšek PANCHARTEK a Michal STARÝ. New Trends of Flat Glass Surface Mechanical Treatment. In: *Proceedings: The 23rd International Conference on Glass*. 1. Teplice: Vydavatelství České sklářské společnosti, 2013, s. 45. ISBN 978-80-904044-3-4.
- [66] ČERNOHORSKÝ, Josef a Marcel HORÁK. Robotul Vertical Climber 2 Design and Implementation of Control Algorithm. In: *Proceedings of 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. 1. New York: IEEE, 2014, s. 86-90. ISBN 978-1-4799-3528-4.
- [67] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Materials Having a High Degree of Adhesion for Gripping Elements Designing. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2014, **613**, s. 220-225. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.613.220. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.613.220>.
- [68] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Michal STARÝ a Josef ČERNOHORSKÝ. New Generation of Mobile Platform of Service Robot for Motion along Vertical Walls. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2014, **613**, s. 126-131. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.613.126. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.613.126>.
- [69] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Zbyšek PANCHARTEK a Michal STARÝ. Mechanically Frosted Glass Matches Up to the Present Trends. In: *Book of Abstracts of 12th ESG Conference*. Parma: University of Parma, 2014. s. 150.
- [70] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. Adhesive Gripping Elements in a Construction of Gripping Heads. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2015, **772**, s. 339-343. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.772.339. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.772.339>.
- [71] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Michal STARÝ a Josef ČERNOHORSKÝ. Aspects of a Safety Operation of Service Robots on Glass Walls. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2015, **772**, s. 461-465. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.772.461. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.772.461>.
- [72] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK, Michal STARÝ a Jaroslav PECHAR. Studie mechanického matování plochého skla. In: *Sborník rozšířených abstraktů XIV. Mezinárodní konference sklářské stroje a seminář kovy ve sklářských technologiích*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. s. 12-15. ISBN 978-80-7494-226-6.

- [73] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
- [74] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Konstrukce robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
- [75] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Michal STARÝ. Abrasive Cylindrical Brush Behaviour in Surface Processing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2017, **118-119**, s. 61-72. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2017.03.006. ISSN 0890-6955. Dostupné také z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695516306666>. **(JIF 2018: 6.039)**
- [76] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Michal STARÝ. Service Robots for Motion and Special Applications on the Vertical Oriented Walls. NEVES, Antonio. *Service Robots*. 1. IntechOpen, 2018. ISBN 978-953-51-3723-8.
- [77] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Petr HENYŠ. Počítačové modelování v konstrukci sonotrod pro vrtání skla ultrazvukem. In: STARÁ, Marie. *Sborník abstraktů XV. Mezinárodní konference Sklářské stroje a kovy ve sklářských technologiích*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, s. 25-28. ISBN 978-80-7494-425-3.
- [78] STARÝ, Michal, František NOVOTNÝ, Marcel HORÁK a Marie STARÁ. Possibilities of Robot Application for Glass Mechanical Frosting by an Abrasive Composite Brush. In: *Procedia CIRP*. 2018, **77**, s. 134-138. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.251. ISSN 2212-8271. Dostupné také z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827118311016>.
- [79] ČERNOHORSKÝ, Josef, Aleš RICHTER a Marcel HORÁK. Mechatronic Design of Rehabilitation Brace. In: *2018 IEEE 20th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*. 1. Ostrava: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, s. 4. ISBN 978-1-5386-4294-8.
- [80] STARÝ, Michal, František NOVOTNÝ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Zdeněk VÍT. Experimental Optimization of Tab and Slot Plug Welding Method Suitable for Unique Lightweight Frame Structures. *Journal of Manufacturing Processes*. 2018, **31**, s. 453-467. DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.11.029. ISSN 1526-6125. Dostupné také z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1526612517303602>. **(JIF 2018: 3.462)**
- [81] STARÝ, Michal, František NOVOTNÝ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. Summary of the Properties and Benefits of Glass Mechanically Frosted with an Abrasive Brush. *Construction and Building Materials*. 2019, **206**, s. 364-374. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.062. ISSN 0950-0618. Dostupné také z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061819303605>. **(JIF 2018: 4.046)**
- [82] STARÝ, Michal, František NOVOTNÝ, Marcel HORÁK a Marie STARÁ. Sampling Robot for Primary Circuit Pipelines of Decommissioned Nuclear Facilities. *Automation in Construction*. 2020, **119**, 9. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103303. ISSN 0926-5805.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580519308362>
(JIF 2018: 4.313)

5.1 Patenty, užité a průmyslové vzory

- [1] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. *Podtlakový úchopný prvek*. Česká republika. 22075 Užité vzor. Uděleno 18. 04. 2011. Zapsáno 27. 04. 2011.
- [2] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. *Podtlakový úchopný prvek*. Česká republika. 302959 Patent. Uděleno 14. 12. 2011. Zapsáno 25. 01. 2012.
- [3] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Martin PLAVEC. *Mobilní plošina pro pohyb po vertikální stěně*. Česká republika. 22900 Užité vzor. Uděleno 07. 11. 2011. Zapsáno 16. 11. 2011.
- [4] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK a Martin PLAVEC. *Mobilní plošina pro pohyb po vertikální stěně*. Česká republika. 303697 Patent. Uděleno 06. 02. 2013. Zapsáno 20. 03. 2013.
- [5] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. *Kapalinový kompenzátor polohy*. Česká republika. 27916 Užité vzor. Uděleno 10. 03. 2015. Zapsáno 18. 03. 2015.
- [6] ČERNOHORSKÝ, Josef, Martin DIBLÍK, Marcel HORÁK, Libor KUČERA a Vojtěch KOTEK. *Ergometr*. Česká republika. 29489 Užité vzor. Uděleno 31. 05. 2016. Zapsáno 08. 06. 2016.
- [7] PECHAR, Jaroslav, Marcel HORÁK a František NOVOTNÝ. *Průmyslový vzor na dezény povrchu skla ECO SPHERE pro jednosměrnou strukturu*. Česká republika. 004071280-0001 Průmyslový vzor. Uděleno 28. 06. 2017. Zapsáno 28. 06. 2017. Dostupné také z: <https://euipo.europa.eu/eSearch/#details/designs/004071280-0001>.
- [8] PECHAR, Jaroslav, Marcel HORÁK a František NOVOTNÝ. *Průmyslový vzor na dezény povrchu skla ECO SPHERE pro více směrnou strukturu*. Česká republika. 004071280-0002 Průmyslový vzor. Uděleno 28. 06. 2017. Zapsáno 28. 06. 2017. Dostupné také z: <https://euipo.europa.eu/eSearch/#details/designs/004071280-0002>.
- [9] ČERNOHORSKÝ, Josef, Martin DIBLÍK, Marcel HORÁK, Libor KUČERA a Vojtěch KOTEK. *Rehabilitační ergometr a způsob jeho řízení*. Česká republika. 307852 Patent. Uděleno 15. 05. 2019. Zapsáno 26. 06. 2019.
- [10] HAJTMAR, Petr, Jaromír BOGR, Josef ČERNOHORSKÝ a Marcel HORÁK. *Zařízení pro měření jeřábových drah určených k renovaci*. Česká republika. 31464 Užité vzor. Uděleno 13. 02. 2018. Zapsáno 21. 02. 2018.
- [11] ČERNOHORSKÝ, Josef a Marcel HORÁK. *Tažné cyklistické zařízení*. Česká republika. 32884 Užité vzor. Uděleno 21. 05. 2019. Zapsáno 29. 05. 2019.
- [12] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ a Marcel HORÁK. *Odběrná sonda a odběrný nástroj pro odběr radioaktivních vzorků*. Česká republika. 33025 Užité vzor. Uděleno 25. 02. 2019. Zapsáno 30. 07. 2019.
- [13] HORÁK, Marcel, Michal STARÝ, Ludvík LAVIČKA a Jakub KOLÁŘ. *Zařízení pro mechanické odstranění námrazy z trolejového vedení*. Česká republika. 33684 Užité vzor. Uděleno 04. 02. 2020. Zapsáno 12. 02. 2020.

- [14] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Michal STARÝ, Jan VRÁTNÝ a Miroslav VRÁTNÝ. *Zařízení pro bezkontaktní měření geometrické přesnosti tvaru transparentního tvarovaného plošného výrobku ze skla nebo plastu*. Česká republika. 33972 Užitený vzor. Uděleno 12. 05. 2020. Zapsáno 20. 05. 2020. V řízení je přihláška vynálezu.

5.2 Funkční vzorky a prototypy

- [1] MATOUŠEK, Ivo, František NOVOTNÝ a Marcel HORÁK. *Ultrazvuková vrtačka*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/09:#0001273.
- [2] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Mobilní platforma servisního robotu*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/09:#0001272.
- [3] HORÁK, Marcel a František NOVOTNÝ. *Podtlakový úchopný prvek*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/10:#0001766.
- [4] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Martin PLAVEC. *Mobilní plošina pro pohyb po vertikální stěně*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/11:#0002456.
- [5] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, a Vlastimil HOTAŘ. *Automatický pummel tester*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/12:#0002888.
- [6] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a Michal STARÝ. *Zařízení pro vibrační vytloukání výrobků ze skla*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/14:#0006499.
- [7] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ a STARÝ Michal. *Upínač frontendu*. Prototyp. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000508.
- [8] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ a Marcel HORÁK. *Transportní vozík*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000515.
- [9] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ a Marcel HORÁK. *Stabilizační rám*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000519.
- [10] HORÁK, Marcel, Michal STARÝ a František NOVOTNÝ. *Speciální upínač*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000513.
- [11] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ a Marcel HORÁK. *RPS trn*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000520.

- [12] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ a Marcel HORÁK. *Kontrolní přípravek*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/14:#0000518.
- [13] HORÁK, Marcel, Michal STARÝ, František NOVOTNÝ a Jaroslav PECHAR. *Zkušební matovací modul pro instalaci na průmyslový robot*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/15:00002814.
- [14] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK a Zdeněk VÍT. *Laboratorní stand pro testování ultralehkých svařovaných dílů*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/15:00002637.
- [15] HORÁK, Marcel, Josef ČERNOHORSKÝ, Martin DIBLÍK, Vojtěch KOTEK a Libor KUČERA. *Funkční vzorek rehabilitačního rotopedu*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24220/15:00002966.
- [16] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ, Jaroslav PECHAR, et. al. *Stroj pro matování středních formátů plochého skla ECO SPHERE 1600*. Prototyp. Liberec: Sklopan Liberec, a.s., 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00000365.
- [17] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. *Sada přípravků pro měření pevnosti*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00001056.
- [18] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. *Podtlaková úchopná hlavice*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00001045.
- [19] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. *Mechanická úchopná hlavice*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00001047.
- [20] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. *Magnetická úchopná hlavice*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00001046.
- [21] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Ondřej MATÚŠEK. *Aparatura pro bezkontaktní měření transparentních materiálů*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/16:00001058.
- [22] HORÁK, Marcel, Josef ČERNOHORSKÝ, Martin DIBLÍK, Vojtěch KOTEK a Libor KUČERA. *Prototyp pohybového léčebného přístroje*. Prototyp. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2017, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24220/17:00004490.
- [23] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK, Vlastimil HOTAŘ a Jaroslav PECHAR. *Funkční vzorek matovacího modulu pro plošné vzorování plochého skla k instalaci na průmyslový robot*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2017, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/17:00004732.

- [24] NOVOTNÝ, František, Marcel HORÁK, Michal STARÝ a Marie STARÁ. *Válcovací přípravek*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/18:00005825.
- [25] HOTAŘ, Vlastimil, Ondřej MATÚŠEK, Michal STARÝ, Marcel HORÁK a František NOVOTNÝ. *Ruční detektor tloušťky transparentních materiálů*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/18:00005814.
- [26] HOTAŘ, Vlastimil, Ondřej MATÚŠEK, Michal STARÝ, Marcel HORÁK a František NOVOTNÝ. *Měřicí zařízení s konfokálním snímačem*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24210/18:00005813.
- [27] HORÁK, Marcel, Michal STARÝ a František NOVOTNÝ. *Frézovací efektor*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/18:00005839.
- [28] HORÁK, Marcel, Michal STARÝ a František NOVOTNÝ. *Experimentální přípravek na testování dynamického chování vláken*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018, Identifikace dle RIV: RIV/46747885:24620/18:00005818.
- [29] HORÁK, Marcel, Aleš RICHTER, Ludvík LAVIČKA et al. *Zařízení pro mechanické odstraňování námrazy z trolejového vedení v tramvajové dopravě*. Prototyp. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018.
- [30] NOVOTNÝ, František, Michal STARÝ, Marcel HORÁK et al. *Simulátor bezkontaktního měření skel*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019.
- [31] STARÝ, Michal, František NOVOTNÝ, Marcel HORÁK et al. *Servisní robot DECOMOLER*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019.
- [32] ČERNOHORSKÝ, Josef a Marcel HORÁK. *Funkční vzorek tažného cyklistické zařízení - revolverová varianta*. Funkční vzorek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019.
- [33] ČERNOHORSKÝ, Josef a Marcel HORÁK. *TowMe - prototyp tažného zařízení*. Prototyp. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019.
- [34] HORÁK, Marcel, Aleš RICHTER, Jakub KOLÁŘ et al. *Zařízení pro mechanické odstraňování námrazy z trolejového vedení v trolejbusové dopravě*. Prototyp. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019.