

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Diplomová práce

2009

Bc. Tomáš Kudlík

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Materiálové alternativy ocelí používaných v konstrukci nástaveb (návěsů a
přívěsů) užitkových vozidel**

Bc. Tomáš Kudlík

Diplomová práce
2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš KUDLÍK**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Materiálové alternativy ocelí používaných v konstrukci návěsů a přívěsů nákladních vozidel.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1.) Popište současný stav a používané konstrukční materiály přívěsů a návěsů (v rámci ČR i ve světě).
- 2.) Na konkrétním příkladě a na základě konzultace s výrobcem přívěsů a návěsů ilustруйте možnou náhradu alternativními materiály.
- 3.) Proveďte materiálový a technologický rozbor takto provedeného vybraného konstrukčního uzlu včetně diskuse získaných výsledků.
- 4.) Zhodnoťte ekonomické aspekty navrženého konstrukčního (materiálově-technologického) řešení.
- 5.) Na základě provedených analýz formulujte vlastní stanovisko k řešení problematice - s ohledem na ekonomické posouzení a technické využití navrženého řešení v praxi.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2. FIALA, Jaroslav, MENTL, Václav, ŠUTTA, Pavol. Struktura a vlastnosti materiálů. Praha : Academia, 2003. 572 s. ISBN 80-200-1223-0. SKOČOVSKÝ, Petr, BO-KŮVKA, Otakar, PALČEK , Peter. Nauka o materiálu. 2. vyd. Žilina : Vysoká škola dopravy a spojov, 1996. 201 s. ISBN 80-7100-303-4.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Libor Beneš

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 18.5.2009

Tomáš Kudlík

SOUHRN

Tato práce se zabývá výčtem používaných materiálů v oblasti konstrukce přívěsů a návěsů ve světě a v rámci ČR. Dále je popsán návrh náhrady oceli za alternativní materiál u zábrany proti vklínění nechráněných účastníků silničního provozu, materiálový a technologický rozbor a posouzení ekonomických aspektů tohoto řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

materiál, oceli, alternativní materiály, bezpečnost, hmotnost, cena

TITLE

Material options to steels, used for trailer and semi-trailer structure of commercial vehicles

ABSTRACT

This work is concerned with a specification of used materials in construction for trailers and semitrailers round the world and in Czech Republic. There is a project to materials options to steels for side underrun protection against impact of unprotected privies to traffic operations, material and technological analysis and a research of economic aspects of this project.

KEYWORDS

material, steels, alternative materials, safety, weight, price

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu, doc. Dr. Ing. Liboru Benešovi, za vstřícnou pomoc a sympatický přístup při realizaci této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Zapletalovi z firmy PANA V a.s. za potřebné a doplňující informace a všem ostatním, kteří přispěli k tomu, aby tato práce byla realizována.

Obsah

Úvod	8
1 Používané konstrukční materiály přívěsů a návěsů	9
1.1 Historie používání speciálních ocelí.....	9
1.1.1 U nás.....	9
1.1.2 Západní Evropa	9
1.1.3 Situace dnes	10
1.2 Výhody běžných a speciálních ocelí	10
1.3 Části podvozků přívěsů a návěsů	11
1.3.1 Rámy.....	11
1.3.1.1 Základní rozdělení ocelových plechů.....	12
1.3.2 Nápravy	17
1.3.3 Pérování.....	18
1.3.4 Brzdy	19
1.3.5 Zařízení vozidel pro spojování do soupravy.....	20
1.3.6 Příslušenství.....	21
1.3.7 Nástavby.....	22
2 Možnosti náhrady oceli alternativními materiály na konkrétním příkladě	25
2.1 Rozměrové požadavky a umístění zábrany	26
2.1.1 Výčet základních požadavků na vlastní konstrukci zábrany.....	27
2.1.2 Zkoušení	27
2.1.3 Materiálové alternativy.....	28
2.1.3.1 Vysokopevnostní oceli.....	28
2.1.3.2 Slitiny hliníku	38
2.1.3.3 Kompozitní materiály	40
3 Materiálový a technologický rozbor vybraného konstrukčního uzlu	47
3.1 Původní konstrukce - jednotlivé součásti zábrany	48
3.2 Pracovní postup při kompletaci zábrany	49
3.3 Vlastní návrh č. 1. - vysokopevnostní ocel.....	50
3.3.1 Výpočty	52
3.3.1.1 Výpočet hmotností součástí z vysokopevnostní oceli	53
3.3.1.2 Výpočet hmotnostní úspory L_m	54
3.3.2 Předběžná analýza metodou MKP – vysokopevnostní oceli.....	55
3.3.3 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – materiál DOCOL 800 DP ..	59
3.3.4 Výsledky analýzy průhybu konzoly – materiál DOCOL 800 DP	59
3.3.5 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – materiál DOCOL ROLL 1000.....	60
3.3.6 Výsledky analýzy průhybu konzoly – materiál DOCOL ROLL 1000.....	60
3.3.7 Dílčí závěr	61
3.4 Vlastní návrh č. 2 – hliníková slitina.....	62
3.4.1 Analýza metodou MKP – hliníková slitina	63
3.4.2 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – hliníková slitina	63
3.4.3 Výsledky analýzy průhybu konzoly – hliníková slitina	64
3.4.4 Dílčí závěr	64

3.5	Vlastní návrh č. 3 – kompozitní materiál	66
3.5.1	Výpočet úspory hmotnosti	67
3.5.2	Dílčí závěr	68
4	Zhodnocení ekonomických aspektů navrženého konstrukčního řešení.....	69
4.1	Návrh 1. – Vysokopevnostní ocel	69
4.1.1	Dílčí závěr	70
4.2	Návrh 2. – Hliníkové slitiny	71
4.2.1	Úspory pro konstrukci původních rozměrů z hliníkové slitiny	71
4.2.2	Úspory při použití konstrukce firmy Trans-technik	72
4.2.3	Dílčí závěr	73
4.3	Návrh 3. – Kompozitní profily	74
4.3.1	Dílčí závěr	74
5	Vlastní stanovisko k řešené problematice na základě provedených analýz.....	75
	Seznam použité literatury	77
	Seznam obrázků.....	79
	Seznam tabulek.....	81
	Seznam grafů	83
	Seznam příloh	84

Úvod

Tato práce je koncipována hledáním materiálových alternativ k různým druhům ocelí, které se uplatňují v konstrukci jednotlivých částí vozidel, jejich skupin a podskupin, ale také v dalších odvětvích průmyslu. Pro návrh stávající součásti vozidla z jiného materiálu je nutné znát technologii zpracování nových materiálů a také základní požadavky na dimenzování konstrukcí z nových materiálů a jejich zkoušení.

Pro výše zmíněný návrh náhrady oceli za jiný materiál byla ve spolupráci s firmou PANAV a.s. vybrána součást vozidla, a to boční zábrana proti vklínění chodců a cyklistů u přívěsů a návěsů.

Jedním z cílů této práce je nalezení jisté materiálové alternativy tak, aby díky použití nového materiálu došlo k úspoře hmotnosti nebo k úspoře cenové, a to v hodnotě 20%. Jedním z kritérií pro volbu náhradního materiálu je též kritérium bezpečnosti. Nelze jen tak navrhnout jakoukoliv součást bez rozmyslu, proto úspěšná homologace zábrany proti vklínění z hlediska pevnosti i umístění na vozidle je ošetřena předpisem EHK 73 - Jednotná ustanovení pro homologaci nákladních automobilů, přívěsů a návěsů z hlediska jejich boční ochrany.

1 Používané konstrukční materiály přívěsů a návěsů

V oblasti konstrukce přívěsů a návěsů (obecně přípojných vozidel) je využito mnoha druhů materiálů (ocel, plast, kompozit, dřevo) s odlišnými vlastnostmi, a to jak u podvozků, tak u nástaveb. Z dlouhodobého časového hlediska nemá využívání plastů a kompozitů v konstrukcích dlouhou tradici. Jedná se o poměrně „nové“ materiály oproti tradičně využívaným kovovým materiálům. Když už se budeme bavit o železných a neželezných kovech a jejich slitinách, tak musíme zmínit, že historický vývoj v této oblasti nebyl všude stejný, ať už to bylo zapříčiněno válečnými konflikty nebo rozdílnou poválečnou situací v západní a východní Evropě.

V případě běžně využívaných materiálů (například nelegované konstrukční oceli) můžeme brát vývoj u nás a v okolí za podobný. Hlavním důvodem proč do této doby nezankly je, že stále existují oblasti použití, kde se srovnává pouze cena a využívají přirozené vlastnosti oceli, jako nehořlavost nebo pevnost vyšší než u jiných běžných materiálů, jiné speciální vlastnosti nejsou požadovány. U speciálních (vysokopevnostních) ocelí tomu bylo malinko jinak.

1.1 Historie používání speciálních ocelí

1.1.1 U nás

Dříve (polovina 90-tých let) centrálně plánovaná ekonomika kladla hlavně důraz na množství, ale už ne tak na kvalitu oceli. Hutě neumožňovaly vyrábět kvalitnější oceli kvůli špatné technologické vybavenosti. Mezi výrobci, kteří používali ocel, panovala malá konkurence. Velkou nevýhodou byly logistické a kapacitní problémy, které způsobovaly nepravidelné dodávky výrobků, které byly nestandardní. Vývoji nových výrobků byl věnovaný malý prostor

1.1.2 Západní Evropa

V západní Evropě dříve panovala v mnoha ohledech situace jiná, podporovaná rostoucím trhem Unie. Mezi výrobci již panovala jistá konkurence, ale vyšší zisky mohly generovat jen výjimečné a nové výrobky. Dalšímu zvyšování užitečných vlastností výrobků pomáhala konkurence mezi zpracovateli oceli. Následně díky rostoucímu trhu docházelo k postupnému zhromadňování výroby.

U firem byla lepší technologická vybavenost, ale nebyly dostupné prostředky pro simulaci chování konstrukcí - metoda konečných prvků (dále jen MKP), a také moderní

technologie zpracování nebyly zase tak výkonné a pracovní síla, která nemůže být dostatečně nahrazena stroji byla drahá.

1.1.3 Situace dnes

Velkým trhem celé Unie je vyvíjen tlak na zvyšování jak užitečných vlastností, tak i na přepravní kapacity (hmotnost a množství přepraveného zboží) v dopravní technice. Dochází k velkému zhromadění výrob. Co se týká cen, tak prémiová cena s velkou marží se platí jen za high-tech výrobky, které jsou vyvíjeny dostupným simulačním softwarem – MKP. Lidská pracovní síla je častěji nahrazována díky dostupnější moderní technologii se stále rostoucím výkonem výpočetní techniky. Ceny nových ocelí díky většímu počtu výrobců se snižují a díky rostoucím trhům po celém světě mnohdy poptávka převyšuje nabídku. Jaké jsou výhody jednotlivých typů ocelí viz níže, lit. [9].

1.2 Výhody běžných a speciálních ocelí

Běžné konstr. oceli:

- velký sortiment profilů,
- mnoho dostupných technologií zpracování,
- nízká cena,
- běžná dostupnost.

Speciální konstr. oceli:

- pro výrobky se speciálními vlastnostmi, možnost vyšší ceny těchto výrobků,
- širší oblast použití,
- pronikání do netradičních oborů,
- použitelné pro netradiční technologie (kalení, cementování,...),
- při všeobecném lepším využití materiálů je akceptovatelná i jeho vyšší cena,
- marketingové lákadlo.

Výroba přívěsu a návěsu jako celku je mnohdy rozdělena mezi výrobce podvozků a výrobce nástaveb. Samotné části podvozku jsou často vyráběny specializovanými firmami a výrobce přívěsů a návěsů jen nakoupí daný díl a implementuje. Vzhledem k různorodosti použitých materiálů a různých typů konstrukce podvozků a nástaveb, budu se dále zabývat konstrukcí a materiály podvozků (použité materiály a typy nástaveb budou zmíněny později).

1.3 Části podvozků přívěsů a návěsů

Podvozek – základní nosná část automobilu umožňující jeho pohyb.

Části:

- rám – hlavní nosná část automobilu,
- podvěsy:
 - nápravy s vozidlovými koly,
 - pérování,
 - kolové brzdy a brzdná zařízení,
 - nosné nebo suvné části podvěsu (upevňují podvěs k rámu a zajišťují přenos sil mezi podvěsy a rámem),
 - příslušenství (držák rezervního kola, schránka autobaterií, schránka na nářadí, vzduchovjemy, elektroinstalace a další).

Požadavky na podvozky:

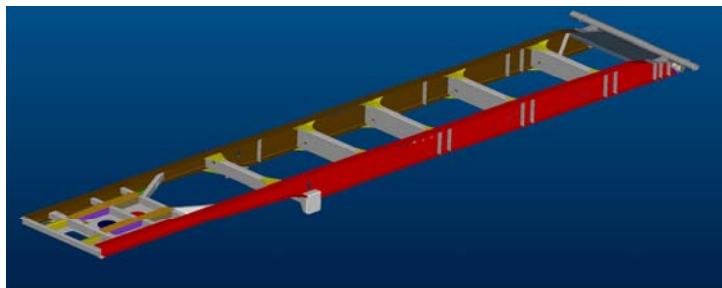
- správná a spolehlivá funkce,
- malá hlučnost,
- malá hmotnost (neodpružených hmot),
- dobrá udržovatelnost – co nejméně údržbových míst,
- dobrá trvanlivost těchto míst.

V závorkách jsou uvedeni výrobci přípojných vozidel používající daný materiál.

1.3.1 Rámy

Existuje několik druhů rámu (žebřinový, křížový, obvodový, páteřový, plošinový, ...), ale v konstrukci přívěsů a návěsů se používá nejčastěji rám svařovaný žebřinový. Alternativou může být rám šroubovaný.

Žebřinový rám (viz obrázek 1.) je obecně tvořen dvěma podélníky a několika příčnicími. Podélníky bývají profilu I, materiál většinou s označením dle ČSN 11 523 u nás (PANAV, Cartechnik)



Obr. 1 Žebřinový rám [9]

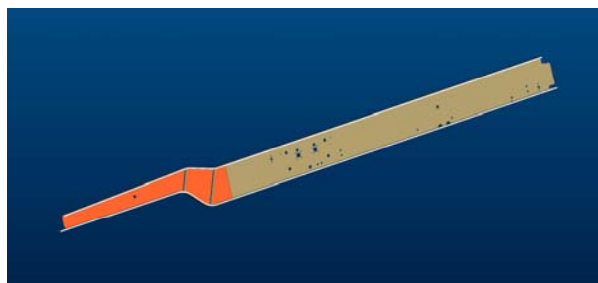
i v zahraničí (Krone). Materiál třídy 11 523 dle ČSN odpovídá materiálu EN S355 J2G3 (porovnání norem viz **Příloha 1**). Příčníky rámu mívají profil U (Cartechnik) nebo I (PANAV) a materiál třídy ČSN 11 373 (nebo S355 J2G3 - Krone).

Svařený rám je pak celý žíhaný z důvodu odstranění vnitřního pnutí svárů, dále fosfátovaný z důvodu odolnosti proti korozi. Někteří výrobci používají žárové zinkování. Při této technologii není nutné svařený rám žíhat, protože k vyžihání dochází při vlastním žárovém zinkování.

Rámy svařované z lehkých slitin (Al slitiny) jsou vyráběny stejnou technologií. Změna základního materiálu rámu pak vyžaduje také jinou technologii svařování a následnou ochranu proti korozi. Tyto rámy se příliš nepoužívají z důvodu vysoké ceny, lit [9].

Vzhledem k náročnosti využití různých typů podvozků se může měnit příčný průřez podélníku po jeho délce (viz obrázek 2) a pak jsou samotné podélníky svařované z jednotlivých plechů.

Různé způsoby, prostředí a podmínky využívání přívěsů a návěsů dovoluje nebo na druhou stranu vyžaduje použití kvalitnějšího nebo méně kvalitního materiálu - ocelového plechu.



Obr. 2 Možný tvar podélníku žebřinového rámu [9]

1.3.1.1 Základní rozdělení ocelových plechů

Zde je stručný přehled používaných typů plechů při výrobě rámu:

- Plechy z nelegovaných konstrukčních ocelí (tradiční materiály, označované u nás běžně 11 373, 11 523, atd..)
- Plechy konstrukční z jemnozrnných ocelí (běžné pevnosti, ale nestandardní jiné vlastnosti, jako tažnost atd...)
- Plechy z vysokopevnostních konstrukčních ocelí odolných proti atmosférickým vlivům, ořezu, průstřelu atd.
- Plechy z vysokopevnostních jemnozrnných ocelí
- Ořezuvzdorné a průrazuvzdorné plechy
- Ostatní (kotlové, lodní a jiné se speciálním určením)

Plechý z nelegovaných konstrukčních ocelí

- U nás tradičně nejvíce používané
- Největší rozptyl parametrů
- Starší označení podle ČSN – 11 373, 11 523, vycházející z meze pevnosti, v Evropě se ale běžně používá značení i podle meze kluzu – parametr, který se k výpočtům běžně užívá
- Nejběžnější konstrukce bez jakýchkoliv speciálních nároků
- Pro tyto plechy jsou použitelné veškeré běžné technologické postupy, od stříhání, přes ohýbání, lisování, pálení, třískové obrábění, až po svařování, atd...
- Materiály náchylné k únavovým poškozením z důvodu nízké meze kluzu, u nejlevnějších materiálů i k nízkoteplotní křehkosti
- Při žárovém zinkování dochází u konstrukcí z materiálu větších tloušťek k velkým deformacím
- Materiály nejsou náchylné k vodíkové křehkosti po žárovém pozinkování
- Mechanické vlastnosti viz tabulka 1.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI													
Označení	Minimální mez kluzu $R_{p0.2}$ [MPa] pro jmen. tl. [mm]								Pevnost v tahu R_m [MPa] pro jmen. tl. [mm]				
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250	3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250
S 235 JR									-				-
S 235 JO	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360-510	350-500	340-490	-
S 235 J2									165				330-480
S 275 JR									-				-
S 275 JO	275	265	255	245	235	225	215	205	-	410-560	400-540	380-540	-
S 275 J2									195				380-540
S 355 JR									-				-
S 355 JO	355	345	335	325	315	295	285	275	-	470-630	450-600	450-600	-
S 355 J2									265				450-600
S 355 K2									265				450-600

Označení	Orient. zkoušky α	Minimální tažnost [%] $L=5,65 \sqrt{S_0}$ pro jmen. tl. [mm]						Zkuš. teplota [°C]	Minimální nárazová práce KV [J]		
		≥ 3,0 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250		≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250
S 235 JR	l	26	25	24	22	21	-	20			-
S 235 JO							-	0	27	27	-
S 235 J2	t	24	23	22	22	21	21[+t]	- 20			27
S 275 JR	l	23	22	21	19	18	-	20			-
S 275 JO							-	0	27	27	-
S 275 J2	t	21	20	19	19	18	18[+t]	- 20			27
S 355 JR	l	22	21	20	18	17	-	20			-
S 355 JO							-	0	27	27	-
S 355 J2							17[+t]	- 20			27
S 355 K2	t	20	19	18	18	17	17[+t]	- 20	40	33	33

Tab. 1 Mechanické vlastnosti nelegovaných konstrukčních ocelí [9]

Plechý z jemnozrnných konstrukčních ocelí

- Parametry stabilnější než u běžných ocelí
- Značení podle meze kluzu
- Vhodné tam, kde je třeba využít jejich speciálních vlastností, jako je tažnost a odolnost proti nízkoteplotní křehkosti
- Nejvýhodnější pro konstrukce bez velkého namáhání, ale s nutností používání speciálních technologií při jejich výrobě
- Jemná zrna zabraňují praskání materiálu při zpracování
- Pro tyto plechy jsou použitelné veškeré běžné technologické postupy, od stříhání, přes ohýbání, lisování, pálení, třískové obrábění, až po svařování, atd...
- Materiály náchylné k únavovým poškozením z důvodu nízké meze kluzu
- Materiály nejsou náchylné k vodíkové křehkosti po žárovém pozinkování
- Mechanické vlastnosti viz tabulka 2.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI								
Označení	Mat. číslo	Tepečné zpraco. *)	Minimální mez kluzu R_{m} (MPa) pro jmen. tl. (mm)					
			≤16	> 16 ≤40	> 40 ≤60	> 60 ≤100	> 100 ≤150	> 150 ≤250
P 275 NH	1.0487	Normalizačně žháno	275	265	255	235	225	215
P 275 NL 1	1.0488							
P 275 NL 2	1.1104							
P 355 N	1.0562		355	345	335	315	305	285
P 355 NH	1.0565							
P 355 NL 1	1.0568							
P 355 NL 2	1.1106		460	445	430	400	*)	*)
P 460 NH	1.8935							
P 460 NL 1	1.8915							
P 460 NL 2	1.8918							

Označení	Pevnost v tahu R_m (MPa) pro jmen. tl. (mm)				Minimální tažnost A (%) pro jmen. tl. (mm)		
	≤60	> 60 ≤100	> 100 ≤150	> 150 ≤250	> 60	> 60 ≤150	> 150 ≤250
P 275 NH	390-510	370-490	360-480	350-470	24	23	23
P 275 NL 1							
P 275 NL 2							
P 355 N	490-630	470-610	460-600	450-590	22	21	*)
P 355 NH							
P 355 NL 1							
P 355 NL 2	570-720 *)	540-710	*)	*)	17	16 pouze do 100 mm	*)
P 460 NH							
P 460 NL 1							
P 460 NL 2							

*) Dle dohody.
*) Pro tloušťky do 16 mm je přípustná nejvyšší hodnota 790 MPa

Označení	Jmenovitá tloušťka (mm)	Tepečné zpraco.	Nárazové práce KV min. (J) při teplotách (°C)									
			Zkouška v příčném směru					Zkouška v podélném směru *)				
			-50	-40	-20	0	+20	-50	-40	-20	0	+20
P ... N	5-250 *)	Normalizačně žháno	-	-	30	40	50	-	-	45	65	75
P ... NH			-	27	35	50	60	30	40	50	70	80
P ... NL 1			27	30	40	60	70	42	45	55	75	85
P ... NL 2												

*) Pro značky ocelí P460NH, P460NL1 a P460NL2 a tloušťkou výrobku do 100 mm
*) do 40 mm

Tab. 2 Mechanické vlastnosti jemnozrnných konstrukčních ocelí [9]

Plechý z vysokopevnostních konstrukčních ocelí odolných proti atmosférickým vlivům, otěru, průstřelu atd..

- Parametry těchto ocelí jsou velmi variabilní
- Speciální druhy použití většinou znamenají nutnost speciálních technologií při zpracování
- Pro tyto plechy jsou použitelné veškeré běžné technologické postupy, od stříhání, přes ohýbání, lisování, pálení, třískové obrábění, až po svařování, atd...
- Materiály méně náchylné k únavovým poškozením díky vyšší mezi kluzu
- Obchodní značky např. Domex Wear resistant, Domex Weather resistant, Domex Protect

Plechý z vysokopevnostních jemnozrnných ocelí

- Značení opět podle meze kluzu
- Vhodné tam, kde je třeba využít především jejich pevnosti a odolnosti proti nízkoteplotní křehkosti
- Nejvýhodnější pro konstrukce s extrémním namáháním, ale bez nutnosti ohýbání, tažení atd.. při jejich výrobě
- Pro tyto plechy jsou použitelné především stříhání, pálení a svařování. Ohýbání co nejméně. Třískové obrábění obecně se nedoporučuje
- Materiály nejsou náchylné k únavovým poškozením z důvodu vysoké meze kluzu, u materiálů většinou mez kluzu velmi blízká mezi pevnosti
- Materiály jsou náchylné k vodíkové křehkosti po žárovém pozinkování
- Mechanické vlastnosti viz tabulka 3.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI											
Označení	Min. mez kluzu R _m (MPa) pro tl. (mm)			Pevnost v tahu R _m (MPa) pro tl. (mm)			Taž. A (%) min.	Nerazová práce KV min. (J) při teplotách			
	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150		0°C	- 20°C	- 40°C	- 60°C
S 690 Q	890	850	830	770-840	780-830	710-800	14	40	30	-	-
S 690 QL								50	40	30	-
S 690 QL1								60	50	40	30
S 890 Q	890	830	-	840-1100	880-1100	-	11	40	30	-	-
S 890 QL								50	40	30	-
S 890 QL1								60	50	40	30
S 960 Q	860	-	-	880-1150	-	-	10	40	30	-	-
S 960 QL								50	40	30	-

Tab. 3 Mechanické vlastnosti vysokopevnostních jemnozrnných ocelí [9]

Vysokopevnostní plechy k pálení a tváření za studena

- Mikrolegované materiály
- Materiály se zaručenou pevností a mezí kluzu ve směru válcování
- Na rozdíl od běžných ocelí mají zaručený minimální poloměr ohybu v obou směrech
- Nejčastější technologie jsou lisování, pálení a tažení.
- Mnohdy navíc vyráběny i v úpravě se zvýšenou odolností proti vlivům atmosféry
- Vhodné i pro zinkování
- Mechanické vlastnosti viz tabulka 4.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI				
Označení	Min. mez kluzu $R_{eH}^{(1)}$ [MPa]	Pevnost v tahu $R_m^{(1)}$ [MPa]	Tažnost [%]	
			A_{50} < 3 mm mín.	A_{80} ≥ 3 mm mín.
S 315 MC	315	390 - 510	20	24
S 355 MC	355	430 - 550	19	23
S 420 MC	420	480 - 620	16	19
S 460 MC	460	520 - 670	14	17
S 500 MC	500	550 - 700	12	14
S 550 MC	550	600 - 780	12	14
S 600 MC	600	650 - 820	11	13
S 650 MC	650	700 - 880	10	12
S 700 MC	700	750 - 950	10	12

Tab.4 Mechanické vlastnosti plechů k pálení a tváření za studena [9]

Otěruvzdorné a nárazuvzdorné plechy

- Mikrolegované až vysoce legované materiály
- Materiály se vyznačují zaručenou pevností a odolností proti průrazu
- Nejčastější technologie jsou pálení a svařování, méně časté ohýbání
- Je třeba zvažovat, ve kterých místech a jak moc svařovat, v místě svaru tepelně ovlivněný materiál
- Nevhodné pro žárové zinkování, tepelně ovlivní původní materiál
- Označování těchto materiálů je odvislé od tvrdosti HB
- Typická nízká tažnost a velká rázová práce v záporných teplotách
- Vyráběno pouze ve velkých tloušťkách, malé tloušťky v praxi nepoužívané
- Mechanické vlastnosti viz tabulka 5.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI					
Označení	Mat. číslo	Mez kluzu $R_{0,2}$ [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Tažnost A [%]	Tvrdotst dle Brinella
XAR 300 ¹⁾	1.8704	~ 700	~ 1000	~ 12	270 - 340
XAR 400 ²⁾	1.8714	~ 1050	~ 1250	min. 12	360 - 440
XAR 400 W ²⁾⁴⁾	-	~ 1100	~ 1250	~ 12	360 - 430
XAR 450 ²⁾	1.8722	~ 1200	~ 1350	~ 10	410 - 490
XAR 500 ²⁾	1.8734	~ 1300	~ 1600	min. 9	450 - 530
XAR 600 ²⁾	1.8735	~ 1700	~ 2000	~ 10	min. 550
Fora 400 ²⁾	-	~ 1100	~ 1350	~ 13	360 - 440
Durostat 400 ²⁾	-	~ 1000	~ 1250	~ 10	360 - 440
Durostat 500 ²⁾	-	~ 1200	~ 1550	~ 8	460 - 540
Dillidur 325 L	1.8705	~ 650	~ 1000	~ 13	325
Dillidur 400 V ²⁾	1.8715	~ 1000	~ 1300	~ 12	370 - 430
Dillidur 500 V ²⁾	1.8721	~ 1300	~ 1650	~ 8	450 - 530
Brinar 400 Cr ¹⁾	1.8709	~ 900	~ 1200	~ 12	340 - 440
X 120 Mn 12 ²⁾	1.3401	min. 350	800 - 1100	min. 40	200 - 500
Domex Wear ¹⁾	-	~ 800	800 - 950	~ 15	~ 285
ALTRIX / VAUTID	Plátované a návarové otěruvzdorné plechy - bližší údaje viz. speciální prospekty.				
¹⁾ - Normalizačně žileno, ²⁾ - Zušlechťeno ve vodě, ³⁾ - Zušlechťeno na vzduchu, ⁴⁾ - Otěruvzdornost garantována do 400°C					

Tab. 5 Mechanické vlastnosti otěruvzdorných a nárazuvzdorných plechů [9]

1.3.2 Nápravy

Hlavním účelem náprav (v oblasti konstrukce přívěsů a návěsů) je vést vozidlová kola, přenášet síly z vozovky na nosnou část vozidla a zajistit funkci rejdového ústrojí (u přívěsů s rejdovnou nápravou).

Mezi hlavní požadavky patří dostatečná pevnost a tuhost a co nejmenší hmotnost.

Nápravy se dají dělit dle několika hledisek, např. dle funkce (hnací, řídicí, sunutá) nebo dle konstrukčního uspořádání (tuhé, kyvadlové, čtyřúhelníkové, klikové, ...), lit [1].

V případě přípojných vozidel se jedná ve většině případů o tuhé nápravy.

Výrobci přípojných vozidel mají v podstatě dvě možnosti. Vyrábět nápravy sami (v současnosti dosti neekonomické) nebo nakupovat od specializovaných výrobců náprav. Ve světě existuje několik velkých firem z oblasti výroby náprav pro nákladní vozidla (SAF, BPW, GIGANT, Daimler Benz).

Výrobce může na přání zákazníka dodávat buď samotnou nápravu s brzdami (bubnové viz obrázek 3. nebo kotoučové), nebo kompletní agregát nápravy s brzdami a pérováním (vzduchovým viz obrázek 4. nebo pomocí listových per) a další možností je sdružený agregát (viz obrázek 5).



Obr. 3 Tuhá náprava s bubnovými brzdami [4]



Obr. 4 Agregát SAF INTRA ALL-IN s kotoučovými brzdami a vzduchovým pérováním [4]



Obr. 5 Sdružený agregát SAF [4]

Hlavním konstrukčním dílem je kruhový profil z legované ocelolityny, tloušťka bývá 8–13 mm (tloušťka závisí na povoleném zatížení náprav), ke kterému jsou přivařeny komponenty pro ložisková uložení.

1.3.3 Pérování

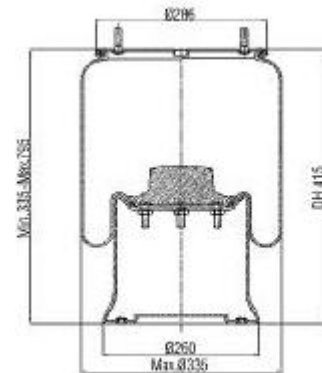
Pérování jako celek slouží k zachycení veškerých rázů od vozovky a zmenšuje tak namáhání dalších částí vozidel. Může být v provedení ocelových per (listová pera, vinuté pružiny, zkrutné tyče), pryžového pérování (ve formě pružných dorazů) nebo plynového (pneumatického) pérování. U přípojných vozidel nákladních automobilů se setkáme výlučně se dvěma typy, a to s pérováním plynovým nebo listovými pery.



Obr. 6 Pneumatická pera firmy WABCO [6]

Plynové pérování může být ve dvou provedeních. Pružiny s konstantním objemem náplně nebo konstantní hmotností plynu (hydropneumatické). Druhý jmenovaný typ nalezneme častěji spíše u osobních automobilů. Použití plynového pérování (s konstantním objemem náplně)

v konstrukci nákladních vozidel bývá v součinnosti s listovými pružinami. Nejčastější konstrukcí bývají pružiny vlnovcové s ocelovými obručemi (viz obr. 6 vpravo), vakové (viz obr. 6 vlevo) nebo kombinace těchto dvou, lit [1]. Jejich konstrukci doplňuje pružný doraz ve vnitřní části pera. Zahraničními producenty systémů pérování jsou Wabco, Knorr, Bendix.



Obr. 7 Pneumatická pružina s pružným dorazem [6]

Listové pružiny bývají navrhovány jako nosník konstantního napětí a jsou vyráběny ze středně legovaných uhlíkatých ocelí. Jedním z předních výrobců v ČR jsou Hanácké železárny a pérovny a.s. Prostějov.



Obr. 8 Listová pružina [6]

Většina výrobců přívěsů a návěsů nakupuje buď samostatné systémy pérování nebo opět kompletní agregáty i s nápravou (viz obrázek 4. výše).

1.3.4 Brzdy

Na kvalitu brzd a celého brzdového systému je kladen asi největší důraz z hlediska říditelnosti vozidla a následné bezpečnosti silničního provozu. Je známo několik případů, kdy porucha brzdového systému nákladního vozidla byla příčinou velkých tragédií se ztrátami na lidských životech, proto se věnuje velká pozornost výběru použitých materiálů a postupu výroby všech částí brzdového systému. Vyrobený brzdový systém (a jeho části), aby mohl být sériově vyráběn, musí projít homologační zkouškou. Následně i vozidlo jako celek musí prodělat homologační zkoušku brzd.

Základní předpisy týkající se brzd:

- Zákon č. 38/1995 Sb. O technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích. Na základě tohoto zákona jsou vydány a používány další předpisy.
- Vyhláška MD č. 102/1995 Sb. O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích. Je vydána na základě zákona č. 38/1995 Sb. Upravuje problematiku brzd a brzdění vozidel z technického pohledu.
- Předpis EHK OSN č. 13, č. 78, č. 90. Jsou to technické předpisy EU, se kterými úzce souvisí vyhláška č. 102/1995 Sb.

U brzd přívěsů a návěsů i tažných vozidel se výhradně používá vysokotlaký vzduchový systém. Jedná se o energeticky a technicky náročný systém, kdy jeho porucha může mít tragické následky. Kontrola celého systému a všech komponentů (od kompresoru,

přes vzduchojemy, vedení přenosového média, až po brzdové válce) i elektronických systémů (ABS, EBS a další) je dle zákona prováděna v předem stanovených intervalech.

Stejně jako pro jednotlivé předchozí části, tak i u brzd platí, že je na celém trhu několik výrobců, většinou zahraničních se zaměřením na komponenty brzdových soustav (Wabco, Knorr, Haldex).



Obr. 9 Komponenty pneumatických brzd firmy Knorr (Kotoučová brzda, 2-válcový kompresor) [8]

1.3.5 Zařízení vozidel pro spojování do soupravy

U **tahače návěsu**: Točna, nejčastěji firma JOST

U **návěsu**: Královský čep (Kingpin), fa JOST



Obr.10 Točna - JOST [7]



Obr. 11 Královský čep [7]

U **tahače přívěsu**: Rockinger, fa Rockinger

Přívěs: Oj (Regensburger zuggabel) a rejdovná (otočná) náprava s točnicí s kuličkovým ložiskem, JOST.



Obr. 12 Spojovací zařízení rockinger [7]



Obr. 13 Ložisko otočné nápravy JOST [7]

Nezbytnou součástí konstrukce návěsů jsou i opěrné nohy, které jsou vyráběny také firmou JOST. Informace o použitých materiálech na tyto součásti nebyly dodány. Na tyto součásti se většinou používají běžné oceli na výkovky.

1.3.6 Příslušenství

Do této oblasti můžeme zahrnout všechny ostatní součásti, které nebyly vyjmenovány dříve, ale k přípojným vozidlům bez výhrad patří.

Elektroinstalace – pro většinu přívěsů a návěsů nejčastěji dodávaná firmou ASPÖCK

- spojovací koncovky,
- kabeláž,
- držáky a kryty zadních světel,
- boční obrysová světla, odrazky a žárovky.



Obr. 14 Schrána na hasicí přístroj [3]

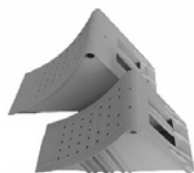
Pryžové a plastové prvky (izolační materiál kabeláže nebudeme brát v úvahu)

- madla
- pružné dorazy zadních dveří a na nárazníku
- záslepky podélných profilů boční ochrany
- plastové blatníky a zástěrky
- schrány na nářadí (polyetylén), hasicí přístroje (vyrobeny z termoplastu) a vodu (polyetylén)



Obr. 15 Schrána na nářadí [3]

Z materiálového (a tématického) hlediska této práce nás spíše zajímají další prvky, jako jsou držáky na rezervní kola, naviják, držáky na schrány, zakládací klíny s držákem a čepy na jejich zajištění, zadní nárazníky, konstrukce boční zábrany proti vklínění a další, protože tyto části mají nezanedbatelnou hmotnost a jsou vhodné pro hledání jiných, hmotnostně lehčích materiálových alternativ.



Obr. 16 Zakládací klíny [3]

Nejčastěji použité materiály u těchto částí jsou klasické běžné nelegované oceli, nebo u boční zábrany také hliníková slitina, která je ovšem drahá. Všechny tyto části musí být řádně schváleny.

1.3.7 Nástavby

Druh, množství a způsob použití materiálu nástaveb se liší dle jejího typu.

Základní typy nástaveb:

- valníková
 - přední čelo – dřevěné, hliníkové
 - zadní čelo a bočnice – hliníková slitina,
 - čelní rohové sloupky – QstE 690 (Krone)
 - $R_{p0,2} = 690 \text{ MPa}$
 - $R_m = 850 \text{ MPa}$
 - středové sloupky – QstE 380 (Krone)
 - $R_{p0,2} = 380 \text{ MPa}$
 - $R_m = 500 \div 640 \text{ MPa}$
 - střešní konstrukce – hliníkové slitiny nebo obyčejná ocel
 - několik řad dřevěných nebo hliníkových latí, nejčastěji (4-5)
 - rozebíratelná konstrukce pro plachtu
 - podlaha z tvrzené vodovzdorné překližky
 - vhodné pro přepravu kusového materiálu nebo materiálu na paletách

- sklápěčková
 - korba většinou ocelová (s mezí kluzu nad 700 MPa – otěruvzdorný materiál) nebo z hliníkové slitiny
 - jedno- nebo dvouhadicová hydraulika
 - objem dle konstrukce $20\text{-}60 \text{ m}^3$
 - vhodné pro přepravu sypkého materiálu

- skříňové nástavby
 - Nejčastěji jako chladírenské nebo mrazírenské.
 - Pro co nejúčinnější chlazení firma Schmitz Cargobull vyvinula způsob izolace Ferroplast. Vnější vrstva je



Obr. 17 Valníková nástavba [2]



Obr. 18 Sklápěčková nástavba [2]



Obr. 19 Skříňová nástavba návěsu [10]

z ocelového plechu a od vnitřní (ocelový plech, hliníkový plech nebo sklolaminát) vrstvy je oddělena polyuretanovou pěnou.

- Nosiče výměnných nástaveb
 - jsou určeny pro přepravu kontejnerů dle norem ISO, DIN a systému M.S.T.S.
 - jedná se o rám podvozku vybavený přípravky pro upevnění výměnné nástavby



Obr. 20 Návěsový nosič výměnných nástaveb [2]

- Plošinové přívěsy a návěsy
 - Určeny pro přepravu kolových nebo pásových strojů (stavebních nebo zemědělských atd.)



Obr. 21 Plošinový přívěs [2]

- Speciální nástavby
 - Na soz dřeva – klanice ocelové (mat. DOMEX)



Obr. 22 Nástavba na soz dřeva [11]

- Na převoz osobních automobilů



Obr. 23 Nástavba na převoz osobních automobilů [2]

- Materiály použité u tohoto typu nástavby se liší dle charakteru použití. Na nosné části se používají vysokopevnostní oceli (DOMEX) a na plošiny pro pojezd vozidel běžné oceli.

2 Možnosti náhrady oceli alternativními materiály na konkrétním příkladě

Se zástupcem zadavatele (PANAV a.s.) této práce, Ing. Josefem Zapletalem, byla pro analýzu možností náhrady oceli jinými materiály vybrána zábrana proti vklínění nechráněných účastníků silničního provozu (dále jen zábrana). Původně použitý materiál – ocel s označením dle ČSN 11 373.0 (11 373.1).

Tato součást patří do konstrukce přívěsů a návěsů z hlediska bezpečnosti. Pro zjištění možných materiálových alternativ musíme znát hlavně předpis EHK 73 pro homologaci nákladních automobilů, přívěsů a návěsů z hlediska jejich boční ochrany (pro tuto práci rozhodující část předpisu, kapitola 7 – Technické požadavky na boční ochranná zařízení, viz **Příloha 2**).

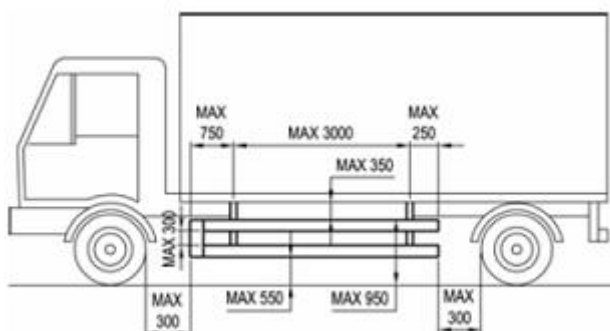
V tomto předpisu je například uveden jeho:

- rozsah platnosti - kterých kategorií vozidel se předpis týká (N₂, N₃, O₃ a O₄) a netýká (tahače návěsů a speciálně navržená vozidla)
 - N₂ – vozidla pro dopravu nákladu s celkovou hmotností od 3500kg do 12000 kg
 - N₃ – vozidla pro dopravu nákladu s celkovou hmotností nad 12000kg
 - O₃ – Přípojná vozidla s celkovou hmotností od 3500kg do 10000kg
 - O₄ – Přípojná vozidla s celkovou hmotností nad 10000kg
- účel
- definice – vysvětlení pojmů
 - homologace vozidla
 - typ vozidla
 - celková hmotnost
 - pohotovostní hmotnost
 - nechránění účastníci silničního provozu
- žádost o homologaci
- požadavky na boční ochranu
- technické požadavky (rozměry a umístění zábrany, viz níže)
- úlevy
- a další, lit [22]

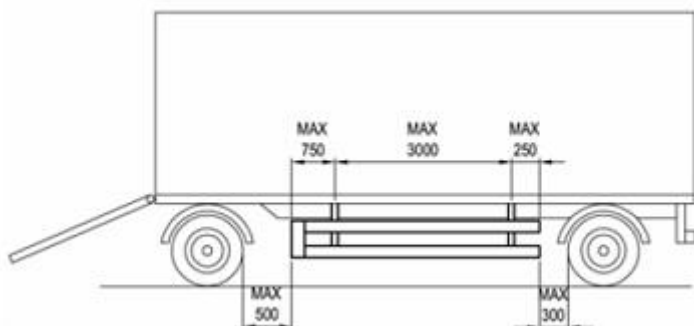
Tento předpis tvoří hlavní „okrajové podmínky“ pro použití jiných materiálů než je ocel. Pro tuto práci jsou nejdůležitější rozměrové informace pro umístění zábrany na vozidle, a také hledisko dovolených deformací.

2.1 Rozměrové požadavky a umístění zábrany

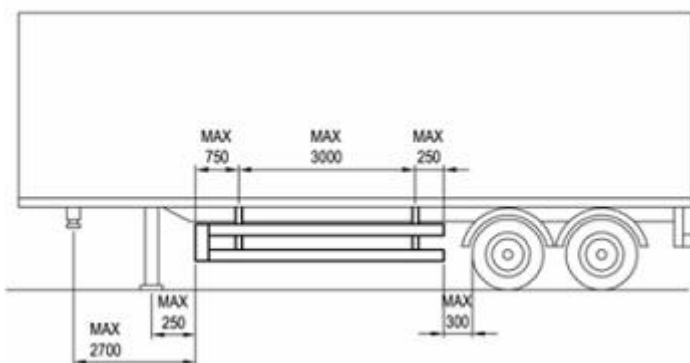
Tyto požadavky se vztahují na zábrany jak na přípojných vozidlech, tak i na tahače přípojných vozidel, pokud jsou vybavena touto ochranou. Základní rozměrové požadavky jsou názorně ukázány na následujících obrázcích. Přesné slovní znění je uvedeno v EHK 73 kap. 7.



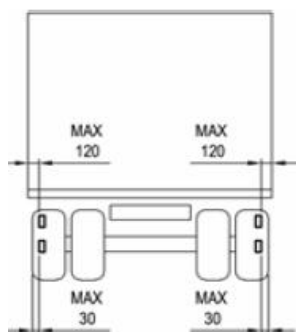
Obr. 24 Umístění zábrany na tažném vozidle [3]



Obr. 25 Umístění zábrany na přívěsu [3]



Obr. 26 Umístění zábrany na návěsu [3]

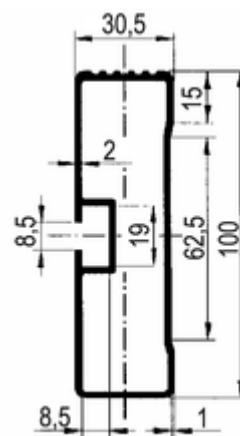


Obr. 27 Umístění zábrany na vozidle – pohled zezadu [3]

2.1.1 Výčet základních požadavků na vlastní konstrukci zábrany

Předpis EHK 73 – Jednotná ustanovení pro homologaci nákladních automobilů, přívěsů a návěsů z hlediska jejich boční ochrany, kap. 7.2 a 7.3. – cituji:

- *Vnější povrch musí být hladký, dle možností od předu dozadu spojitý, části mohou být vzájemně přeplátovány (vrchní hrana musí směřovat dozadu nebo dolů).*
- *Může být ponechána spára nepřesahující 25 mm.*
- *Hlavy šroubů a nýtů mohou vyčnívat nad povrch maximálně 10 mm.*
- *Vnější hrany a hroty musí být zaobleny poloměrem nejméně 2,5 mm.*
- *Zařízení může být tvořeno spojitým plochým profilem nebo z jednoho nebo více vodorovných vodících profilů nebo kombinace plochého povrchu a profilů.*
 - *Profily nesmí být od sebe vzdáleny více jak 300 mm a nesmí být nižší než:*
 - *50 mm pro vozidla kategorie vozidel N_2 a O_3*
 - *100 mm pro vozidla kategorie N_3 a O_4*



Obr. 28 Příklad použitého profilu zábrany, materiál – Al slitina [3]

2.1.2 Zkoušení

Následujícím informacím bude dáván velký zřetel později v kapitole č. 3.

Předpis EHK 73 – Jednotná ustanovení pro homologaci nákladních automobilů, přívěsů a návěsů z hlediska jejich boční ochrany, kap. 7.2 a 7.3. – cituji:

Zábrana musí být tuhá, bezpečně přimontovaná, bez sklonu k uvolňování v důsledku otřesů při užívání vozidla. Musí být vyrobena z kovu nebo JINÉHO vhodného materiálu.

Zábrana je způsobilá pokud odolá vodorovné statické síle 1kN, působící kolmo na jakoukoliv část vnějšího povrchu. Zkušební zařízení má čelní plochu rovinnou kruhového průřezu s průměrem 220 mm ± 10 mm.

Průhyb ochranného zařízení při zkoušce nesmí přesáhnout:

- 30 mm v délkovém rozmezí 250 mm od zadního konce zařízení (maximální průhyb konzoly, ke které jsou připevněny profily)
- 150 mm u ostatních částí konstrukce

2.1.3 Materiálové alternativy

Hledáme materiálové alternativy za základní materiál, kterým je ocel s označením ČSN 11 373. Hodnotícími parametry vhodnosti je cena alternativního materiálu a jeho hmotnost. Cílem práce je nalézt takový materiál, který nám zajistí úsporu 20%, a to finanční nebo hmotnostní. V ideálním případě hledáme co nejlehčí a co nejlevnější materiál. Nižší cena sníží náklady na výrobu a nižší hmotnost zábrany zase zvýší užitečné zatížení vozu bez zvýšení jeho celkové hmotnosti. Nesmíme ale zapomenout, že celá konstrukce podléhá jistým předpisům a nově navržený materiál je musí splňovat. Jedná se zejména o rozměry jednotlivých částí a jejich vzájemné polohy a umístění na vozidle, a také pak musí splňovat pevnostní požadavky na konstrukci jako celek.

Pro náš problém je možný návrh řešení ve formě:

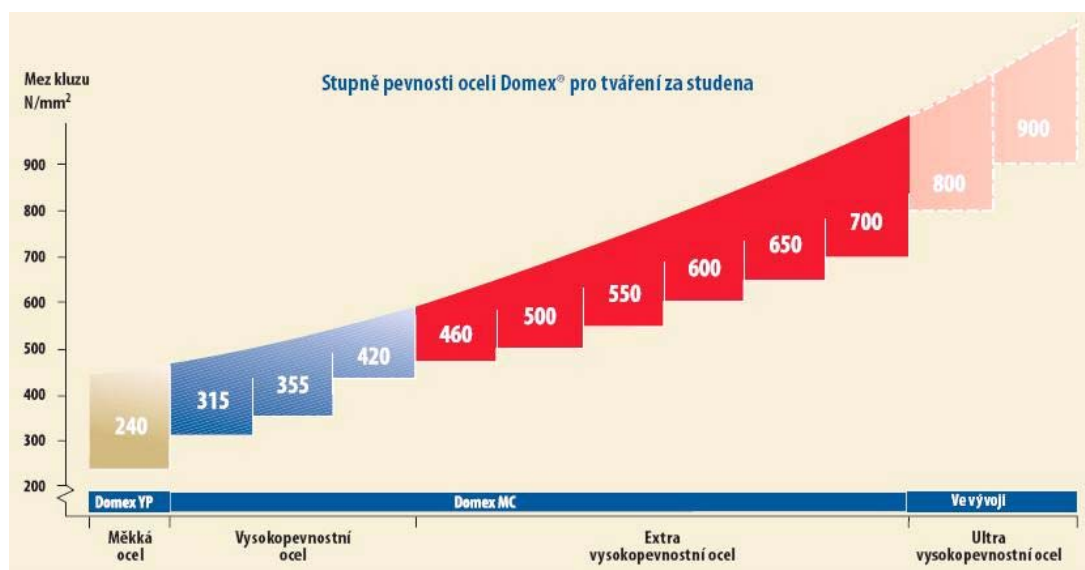
- vysokopevnostní oceli
- hliníkové slitiny – pro srovnání, v současnosti se již používají
- kompozitního materiálu

2.1.3.1 Vysokopevnostní oceli

Použití vysokopevnostní oceli má pro náš problém výhodu v tom, že oproti původnímu materiálu můžeme použít materiál menší tloušťky. Dojde ke snížení celkové hmotnosti jednotlivých částí konstrukce a díky vyšší pevnosti odolá stejnému namáhání jako základní materiál. Lze to aplikovat i obráceně – při stejné hmotnosti (tloušťce) odolá součást z vysokopevnostního materiálu většímu namáhání, právě díky vyšší pevnosti.

Mezi přední světové výrobce těchto materiálů patří firmy SSAB (Švédsko), Thyssen-Krupp (Německo) a RUUKKI (Finsko). Společnost Thyssen-Krupp se soustředí spíše na běžnější typy ocelí a firma RUUKKI se zabývá vývojem materiálů hlavně pro stavební

aplikace. Koncept produkce firmy SSAB zaujímá přední místo v produkci vysokopevnostních materiálů po celém světě a nemá přímou konkurenci v tomto odvětví, proto následující informace budou jistě dostačující. Soustředí se víc na aplikace se zaměřením na konečnou (strojírenskou) aplikaci (stavební stroje, sklápěče, návěsy apod.) a spolupráci při výpočtech, zvláště pokud se jedná o upgrade z měkké na vysokopevnostní ocel. Informace o části produkce firmy SSAB jsou uvedeny v následujícím textu. Zde je nutné uvést ještě jednu informaci, protože některé „nové“ materiály mají velmi vysokou mez kluzu, označují se jako extra a ultra vysokopevnostní. Informaci, kde je hranice mezi jednotlivými typy, nám dá následující obrázek. Příklady produkce jsou pak uvedeny níže.



Obr. 29 Stupně pevnosti oceli Domex [9]

Oceli obchodní značky Domex (Domex 600, 650, 700, 960, 1200)

- Extra vysokopevnostní ocel za tepla válcovaná, postup ohřevu, válcování i ochlazování je pečlivě kontrolován.
- Vhodné pro použití pro podvozky vozidel (jeřábů a zemních strojů), kde vysoká pevnost umožní snížení hmotnosti konstrukce a zvýšení užitečného zatížení.
- V důsledku dobré tvárnosti mohou být sníženy celkové náklady.
- Chemické složení ocelí Domex 600, 650 a 700 se liší pouze obsahem Manganu
 - Díky nízkému obsahu uhlíku, fosforu a síry není nutný předehřev před svařováním a je možné použít obvyklé konvenční svařovací metody.

Ocel	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti
DOMEX 600	0,12	0,1	1,9	0,025	0,01	0,015	0,09	0,2	0,15
DOMEX 650	0,12	0,1	2	0,025	0,01	0,015	0,09	0,2	0,15
DOMEX 700	0,12	0,1	2,1	0,025	0,01	0,015	0,09	0,2	0,15

Tab. 6 Chemické složení ocelí Domex 600, 650 a 700 [5]

- U těchto tří typů se jako tepelné zpracování (po svařování) provádí žihání v rozmezí teplot 530÷580 °C. Zpracování nad toto teplotní rozmezí (normalizování, tváření za tepla) snižuje pevnost materiálu.
- Chemické složení ocelí Domex 960 a Domex 1200

Ocel	C	Si	Mn	P	S	Al
DOMEX 960	0,15	0,5	2,1	0,02	0,01	0,015

Tab. 7 Chemické složení oceli Domex 960 [5]

Ocel	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V
DOMEX 1200	0,21	0,5	1,4	0,02	0,005	0,02	0,04	0,08
	B	Nb	Cr	Cu	Mo	Ni	N	Ti
	0,05	0,04	0,8	0,1	0,7	2	0,01	0,02

Tab. 8 Chemické složení oceli Domex 1200 [5]

- Vzhledem k velmi vysoké pevnosti těchto dvou typů ocelí, je při ohýbání o 90° nutné dodržet minimální vnitřní přípustný poloměr ohybu (3x tloušťka plechu).
- Tyto materiály nejsou vhodné pro aplikace s pracovní teplotou nad 200 °C, protože pak ztrácí svoje zaručené mechanické vlastnosti.
- Mechanické vlastnosti
 - Označování ocelí dle meze kluzu

Ocel	Mez kluzu [MPa]		Mez pevnosti [MPa]		Tažnost	Ohyb	Obsah uhlíku
	Od	Do	Od	Do	[%]	min radius pro 90°	[%]
DOMEX 600	600		650	820	13-16	0,7-1,4xt	0,12
DOMEX 650	650		700	880	12,0 - 14,0	0,8-1,5xt	0,12
DOMEX 700	700		750	950	10,0 - 12,0	0,8-1,6xt	0,12
DOMEX 960	960		1060		8	3,0xt	0,15
DOMEX 1200	1200		1350		8	3,0xt	0,21

Tab. 9 Mechanické vlastnosti Ocelí Domex [5]

Oceli obchodní značky Docol DP a Docol DL

- Feriticko-martenzitické oceli, kdy se pevnost zvyšuje s podílem martenzitické fáze.
- Velmi dobrá tvárnost a díky nízkému obsahu uhlíku i svařitelnost.
- Výhody:
 - Snižování hmotnosti
 - Zjednodušená výroba
 - Zvýšená bezpečnost
 - Delší životnost
 - Zvýšení užitečného zatížení a únosnosti
- Aplikace
 - Bezpečnostní díly v automobilech – dveře, rámy, nárazníky, výztuže, části sedadel
 - Vhodné pro tváření za studena
- Chemické složení

Ocel	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb
DOCOL 500DP	0,08	0,3	0,65	0,01	0,01	0,04	
DOCOL 500DL	0,05	0,2	1,5	0,01	0,002	0,04	
DOCOL 600DP	0,1	0,2	0,8	0,01	0,002	0,04	0,015
DOCOL 600DL	0,1	0,4	1,5	0,01	0,002	0,04	
DOCOL 800DP	0,13	0,2	1,5	0,01	0,002	0,04	0,015
DOCOL 800DL	0,14	0,2	1,5	0,01	0,002	0,04	0,015
DOCOL 1000DP	0,15	0,5	1,5	0,01	0,002	0,04	0,015

Tab. 10 Chemické složení ocelí s označením Docol DP a DL [5]

- Mechanické vlastnosti
 - Označování dle meze pevnosti

Ocel	Mez kluzu [MPa]		Mez pevnosti [MPa]		Tažnost	Ohyb	Obsah uhlíku
	Od	Do	Od	Do	[%]	min radius pro 90°	[%]
DOCOL 500DP	290	370	500	600	20	0	0,08
DOCOL 500DL	230	300	500	600	24	0	0,05
DOCOL 600DP	350	450	600	700	16	0	0,1
DOCOL 600DL	280	360	600	700	20	0	0,1
DOCOL 800DP	500	650	800	950	10	1xt	0,13
DOCOL 800DL	390	540	800	950	13	1xt	0,14
DOCOL 1000DP	700	950	1000	1200	7	2xt	0,15

Tab. 11 Mechanické vlastnosti ocelí Docol DP a DL [5]

Oceli s obchodním označením Docol Martenzitic (Docol M)

- Martenzitické oceli vyráběné nepřetržitým žháním a následným extrémně rychlým ochlazením.
- Vyznačují se dobrou tvárností, vysokou pevností v kombinaci s dobrou svařitelností.
- Výhody:
 - Snižování hmotnosti
 - Velmi vysoké hodnoty pevnosti
 - Jednodušší výroba
 - Zvýšená bezpečnost
 - Snížení celkových nákladů
- Aplikace
 - Bezpečnostní prvky v automobilech
 - Výztuhy nárazníků
 - Kotouče spojky
 - Řezné nástroje
 - Vhodné pro tváření za studena (ohýbání, válcování, výroba trubek)
- Chemické složení

Ocel	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb
DOCOL 1200M	0,11	0,2	1,6	0,015	0,002	0,04	0,015
DOCOL 1400M	0,17	0,5	1,6	0,015	0,002	0,04	0,015

Tab. 12 Chemické složení ocelí Docol M [5]

- Mechanické vlastnosti
 - Označování dle meze pevnosti

Ocel	Mez kluzu [MPa]		Mez pevnosti [MPa]		Tažnost	Ohyb	Obsah uhlíku
	Od	Do	Od	Do	[%]	min radius pro 90°	[%]
DOCOL 1200M	950	1200	1200	1400	4		0,11
DOCOL 1400M	1150	1400	1400	1600	3		0,17

Tab. 13 Mechanické vlastnosti ocelí Docol M [5]

Oceli s obchodním označením Docol ROLL

- Oceli této třídy jsou navrženy pro aplikace, kde se jako hlavní metoda tváření uplatňuje válcování. Tyto oceli jsou podrobeny tepelnému zpracování v kontinuální žíhací lince.
- Mechanické vlastnosti
 - Označování oceli dle meze pevnosti.

Ocel	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]		Tažnost	Ohyb	Obsah uhlíku
		Od	Do	[%]	min radius pro 90°	[%]
DOCOL ROLL 800	600	800	950	10	0,8xt	0,16
DOCOL ROLL 1000	850	1000	1200	5	1,0xt	0,18

Tab. 14 Mechanické vlastnosti oceli Docol ROLL [5]

- Charakterizace
 - Vysoká mez kluzu minimalizuje nerovnosti na plochých oblastech
 - Vysoký poměr meze kluzu a meze pevnosti předurčuje, že napětí ve vysoce tvářených oblastech jsou srovnatelná s namáhání v mírně tvářených oblastech. To způsobuje malé rozdíly ve zbytkových pnutích a následně menší sklon k ohýbání a kroucení profilu.
- Aplikace
 - Hlavně bezpečnostní prvky jako nosníky proti bočnímu nárazu, výztuhy nárazníků a části sedadel.
 - Jsou určeny pro tváření za studena.
 - Tento materiál lze svařovat všemi obvyklými metodami (obloukové svařování kovem v plynu – MAG, manuální obloukové svařování – MMA, TIG svařování a další)

Shrnutí možností použití vysokopevnostních ocelí

Jak bylo výše uvedeno, díky vysoké mezi kluzu jsou tyto materiály vhodné pro úsporu hmotnosti konstrukce, protože například plechy jsou schopny přenést stejné zatížení díky vyšší pevnosti, než obvyklé materiály.

Vzhledem k tomu, že je zábrana proti vklínění posuzována jako bezpečnostní prvek, navrhol bych jako náhradní materiál oceli s označením Docol, a to s mezí kluzu

nad 600 MPa (Docol 800 nebo Docol ROLL 1000). Výpočty a srovnání budou uvedeny později.

Protože jednotlivé části konstrukce zábrany jsou vyráběny pomocí strojírenských technologií (např. podélný profil je vyrobený stříháním a ohýbáním plechu), musí se u vysokopevnostních materiálů brát také ohled na technologii zpracování a přístroje k tomu použité, protože při zpracovávání materiálu vysoké pevnosti se výrazně zvyšuje opotřebení a rychleji tak snižuje životnost nástrojů.

Technologie použité ve výrobě

Stříhání

- Pro stříhání se běžně bere pevnost 0,8 Rm.
- Vysokopevnostní oceli – některé podle zkoušek až 0,6 Rm.
- Pro plechy otěru a průrazuvzdorné (např. HARDOX, RAEX) je třeba používat nůžky pro tvrdé materiály nebo je potřeba materiál pálit.

Ohýbání

Klasické materiály mívají obvykle nízký poměr mezi tloušťkou a rádiusem ohybu (menší než 2).

Vysokopevnostní materiály mají velmi rozdílné parametry a kvůli vysoké pevnosti (mezi kluzu) je pro ohyb potřeba větších sil a rádiusů. To do jisté míry omezuje možné použití této technologie.

Mechanické vlastnosti (i s poloměry ohybu v závislosti na tloušťce) dalších typů materiálu DOMEX jsou v následující tabulce:

Mechanické vlastnosti							
Značka oceli	Mez kluzu	Mez pevnosti	Tažnost Min. (%)		Poloměr ohybu	Poloměr ohybu	Poloměr ohybu
	R_{eH} (N/mm ²) Min.	R_m (N/mm ²) Min.–max.	A_{80} t < 3	A_5 t ≥ 3	Min. t ≤ 3 mm	Min. 3 < t ≤ 6 mm	Min. t > 6 mm
Domex 240YP	240	360–460	28 **	28	0,3 × t	0,5 × t	0,7 × t
Domex 315 MC	315	390–510	20	24	0,2 × t	0,3 × t	0,4 × t
Domex 355 MC	355	430–550	19	23	0,2 × t	0,3 × t	0,5 × t
Domex 420 MC	420	480–620	16	20	0,4 × t	0,5 × t	0,8 × t
Domex 460 MC	460	520–670	16	19	0,5 × t	0,7 × t	0,9 × t
Domex 500 MC	500	550–700	14	18	0,6 × t	0,8 × t	1,0 × t
Domex 550 MC	550	600–760	14	17	0,6 × t	1,0 × t	1,2 × t
Domex 600 MC	600	650–820	13	16	0,7 × t	1,1 × t	1,4 × t
Domex 650 MC	650*	700–880	12	14	0,8 × t	1,2 × t	1,5 × t
Domex 700 MC	700*	750–950	10	12	0,8 × t	1,2 × t	1,6 × t

Tab. 15 Mechanické vlastnosti materiálů DOMEX [9]

Lisování

- Pro lisování jsou vyráběny speciální jemnozrné oceli s tažností až do 25%.
- Ekvivalent dřívějších hlubokotažných plechů o mezi kluzu kolem 400 Mpa
- Stoupá vliv přesnosti formy
- Zvyšují se přídržné síly
- Důležité je mazání forem
- Životnost klesá s kvalitou materiálu

Třískové obrábění

Díky vysokým mezím pevnosti těchto materiálů je veškeré třískové obrábění prakticky nepoužitelné.

Řezání

- **Řezání plasmou** – při použití vzduchové plasmy může dojít k absorpci dusíku
- **Řezání laserem** – v podstatě bez omezení

Obě tyto technologie nahrazují do jisté míry třískové obrábění.

Přesnost zpracování

Při zpracování těchto „nových“ materiálů musíme znát potřebné informace o tomto materiálu. Kromě mechanických vlastností se jedná o konečný způsob využití součásti (kde bude součást provozována), a také s tím související náročnost na přesnost zpracování (výroby), protože při každém zpracování určitou technologií vznikají odchylky. Ty mohou být:

- Rozměrové
- Kvalitativní
- V chemickém složení
- V jakosti povrchu

Rozměrové odchylky

- Lisování, tažení – praskání nebo naopak nedolisování dílců
- Svařování – kroucení díky rozdílnému odvodu tepla a výskyt vnitřního pnutí po schládnutí
- Ohýbání – nedohnuté nebo naopak přehnuté dílce

- Povrchová ochrana – tvarová deformace při zinkování

Kvalitativní odchylky

- Lisování, tažení – nedolisování dílců, praskání
- Svařování – rozdílná struktura materiálu v tepelně ovlivněných oblastí a s tím související změny mechanických vlastností
- Ohýbání – praskání materiálu, poškození technologických zařízení
- Povrchová ochrana – tvarová deformace při zinkování

Odchylky chemického složení

- Pálení – špatná kvalita povrchu
- Svařování – špatná kvalita svarového spoje, vměstky, bublinky, atd...
- Povrchová ochrana – špatná přilnavost materiálů
- Vznik koroze

Odchylky jakosti povrchu

- Pálení – špatná kvalita povrchu
- Lisování, tažení – okuje vlisované do povrchu výrobků, špatná vzhled výrobků
- Svařování – problematická kvalita svaru a špatná kvalita povrchu při špatném technologickém postupu svařování
- Ohýbání – problémy jako u lisování
- Povrchová ochrana – špatné přilnutí ochranné vrstvy, špatná vizuální kvalita povrchu

Jakékoliv odchylky mohou v krajním případě vést až ke znehodnocení výrobku. Následné náklady na odstranění chyb mohou i několikanásobně převýšit cenu vstupního materiálu.

Povrchová ochrana

Jedním z posledních článků řetězce při zpracování nových materiálů je dobrá volba povrchové ochrany. Ta je důležitá z hlediska mechanických vlastností, životnosti, ale také estetiky. Právě koroze materiálu má velký vliv na pevnostní charakteristiky materiálu součásti a následně celé konstrukce. V návaznosti na to má vliv především na bezpečnost.

Možné rozdělení povrchové ochrany:

- Klasické povrchové ochrany – stříkání (natírání)

- Metody využívající elektrického pole – galvanické zinkování, katodforéza, elektrostatický nástřik
- **Žárové zinkování**
 - + Nejodolnější ochrana – neodírá se
 - Nejcitlivější ochrana – v konstrukci nesmí být dutiny a vzduchové kapsy
 - Deformace konstrukce – potřebný návrh konstrukce tak, aby se při ponoření do lázně eliminovalo pnutí (vhodné jsou materiály menších tloušťek – materiály vysoké pevnosti)
 - Chemicky citlivá ochrana – díky vyššímu obsahu křemíku v oceli riziko vzniku vodíkové křehkosti
 - Obtížně opravitelná povrchová ochrana, lit [9]

2.1.3.2 Slitiny hliníku

V současnosti se již hliníkové slitiny, jako materiál v konstrukci zábran, používají. V této práci jsou informace o tomto typu materiálu uvedeny pro srovnání, jak materiálové, tak finanční. Pokud to vezmeme globálně, tak dopravní odvětví průmyslu obecně je největším „spotřebitelem“ slitin hliníku (27%). Další aplikace, kde se nejvíce tyto materiály používají jsou obaly (26%), konstrukce (18%), elektrotechnika (8%), lit. [21]

Mezi hlavní přednosti patří výrazně nižší hustota oproti ocelím a od ní se odvíjející nižší hmotnost součástí (v našem případě zábrany). Nižší hmotnost součástí vede k nižší spotřebě a tudíž nižším hodnotám emisí. V našem případě, v konstrukci přívěsů a návěsů, se jedná o úsporu hmotností zejména z důvodu zvýšení užitečného zatížení těchto vozidel.

Dalšími výbornými vlastnostmi jsou dobrá tepelná a elektrická vodivost, korozní odolnost (zvýšení životnosti) a snadná recyklace (hospodárnost výroby). Na druhou stranu je nutné uvést i velký zápor těchto slitin, a tou je vyšší cena. Srovnání vlastností a cen bude uvedeno později v kapitole 3. resp. 4.

Hliníkové slitiny se používají pro odlévané součásti motorů, jako jsou hlavy válců (AlSi25), bloky motorů, klikové skříně (AlSi10MgMn), písty. U menších 4-válcových motorů se používají celohliníkové motory (o 25 kg nižší hmotnost). Dále se z hliníkových slitin vyrábí i skříně převodovek.

Výrobky vyrobené tvářením (plechy a profily) jsou používány v rámech karoserií, podvozkových částech (celohliníkové podvozky), segmentech dveří.

Protože mechanické vlastnosti hliníkových slitin jsou velmi rozdílné od vysokopevnostních materiálů, nejsou kladeny tak vysoké nároky na technologii zpracování (stříhání, lisování, třískové obrábění, ohýbání), a ani na přesnost zpracování jako na vysokopevnostní oceli.

Vliv legujících prvků

Existuje mnoho slitin, jejichž vlastnosti se liší množstvím legujících prvků, a také konečným tepelným zpracováním. Mezi významné legující prvky se řadí křemík – Si, měď – Cu, Mangan – Mn a hořčík – Mg.

Vliv těchto prvků na vlastnosti slitiny je následující:

Si – zlepšuje slévárenské vlastnosti

Cu – zvyšuje pevnost, tvrdost, korozní odolnost

Mn – zvyšuje pevnost, tvrdost, houževnatost

Mg – zvyšuje pevnost a korozní odolnost

Lit. [21]

Použití v konstrukci přívěsů a návěsů

Jak bylo zmíněno v kapitole 1., možnosti použití hliníku jsou široké. V konstrukci přívěsů a návěsů se uplatňují téměř všude. Může se vyrobit celý rám podvozku nebo jeho části z hliníkových slitin. Tyto slitiny se používají zejména v konstrukci nástaveb (přední i zadní čela, bočnice, boční vodící lišty, konstrukce pro oplachtování).

Všechny tyto materiály jsou tepelně zpracovávány před vlastním použitím a montáží. Rozlišujeme několik stavů pevnosti hliníkových slitin. Po tepelném zpracování se liší svými mechanickými vlastnostmi (od nich se pak následně odvíjí možnosti použití). Více informací bude uvedeno v kapitole č. 3.

Stav	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Rp _{0,2} [MPa]	Tažnost A [%]	Poznámka
T4	120	60	16	
T5	140	100	8	tloušťka 5÷25 mm
	160	120	8	tloušťka max 5 mm
T6	170	140	8	tloušťka 3÷25 mm
	190	150	8	tloušťka max 3 mm
T64	180	120	12	tloušťka max 15 mm
T66	195	150	8	tloušťka 3÷25 mm
	215	160	8	tloušťka max 3 mm

Tab. 16 Možné stavy pevnosti hliníkových slitin [12]

Názvosloví stavů

T4 – rozpouštěcí žihání a vytvrzení za studena

T5 – zakaleno z tvářecí teploty a vytvrzeno za tepla

T6 – rozpouštěcí žihání a vytvrzení za tepla

T64 – rozpouštěcí žihání a pro zlepšení svařitelnosti ne zcela vytvrzeno za tepla

T66 – rozpouštěcí žihání a vytvrzení za tepla

Lit. [12]

2.1.3.3 Kompozitní materiály

Definice

Kompozit je heterogenní materiál, který se skládá ze dvou a více složek (fází) s odlišnými vlastnostmi (mechanické, fyzikální, chemické). Oba materiály pak utváří výsledné vlastnosti materiálu, které jsou jiné, než vlastnosti materiálů dílčích. Obecně jsou tyto vlastnosti lepší, než jaké by odpovídaly pouhému jejich poměrnému sečtení => SYNERGISMUS.

Základní dvě části jsou MATRICE a VÝZTUŽ. Výztuž slouží pro zvýšení tuhosti a pevnosti matrice a matrice naopak chrání výztuž před poškozením rázem nebo abrazí.

Základní rozdělení kompozitů

Kompozity

- částicové
 - s orientovanými částicemi
 - s neorientovanými částicemi
- vláknové
 - vícevrstvé
 - hybridy
 - lamináty
 - jednovrstvé
 - dlouhovláknové
 - jednosměrně orientovaná vlákna
 - dvousměrně orientovaná vlákna
 - krátkovláknové
 - s nahodile orientovanými vlákny
 - s orientovanými vlákny, lit. [16]

Jiné rozdělení

V současnosti nejběžněji vyráběné kompozity mohou být rozděleny do tří hlavních skupin.

- Kompozity s polymerní matricí – Polymer Matrix Composites (PMC)
 - matrice – polymerní pryskyřice
 - výztuž – skleněná, uhlíková nebo aramidová vlákna

- Kompozity s kovovou maticí
 - matrice – hliník
 - výztuž – karbidokřemenná vlákna
- Kompozity s keramickou maticí
 - matrice – keramika
 - výztuž – krátké vlákna z karbidu křemíku nebo nitridu boru, lit [13]

Kompozity s polymerní maticí

Na základě doporučení, by bylo jako alternativu pro podélný profil zábrany vhodné zvolit kompozitní profil vyráběný pultruzní technologií, pro kterou jsem jako nejvýhodnější jeví kompozity s polymerní maticí (matrice – polyesterová pryskyřice, výztuž – E-sklo), a proto bude tento druh kompozitu použit pro materiálový a technologický rozbor (výroba, vlastnosti jednotlivých částí kompozitu) v kapitole 3. Zde budou uvedeny základní informace o způsobu namáhání kompozitů a porovnání s ostatními konstrukčními materiály. Existuje však několik dalších druhů matrice i výztuže. Zde je jejich stručný přehled.

Nejčastěji používané pryskyřičné systémy

- polyesterové
- vinylesterové
- epoxidové
- dále fenoly, kyanidové estery, silikony, polyuretany

Nejčastěji používaná vlákna

- sklěněná
 - různé typy: E-sklo, C-sklo, S-sklo
- uhlíková
 - různé typy: HS (vysoká pevnost), HM (vysoký modul pružnosti), IM (střední modul pružnosti), SHM (extra vysoký modul pružnosti)
- aramidová
- dále pak hliník, titan, ocel

Z důvodu anizotropních vlastností kompozitů je důležité vědět, jak bude součást z těchto materiálů namáhána co do velikosti, tak i směru zatížení. Zde vystupují 4 hlavní druhy zatížení a s nimi související chování kompozitů, lit [13]

Tah

Při tomto způsobu namáhání bude odezva kompozitu na zatížení závislá na vlastnostech výztuže – vlákna, protože jeho vlastnosti jsou mnohem vyšší než vlastnosti pryskyřičného systému.

Tlak

Při tomto způsobu namáhání jsou rozhodující adhesivní a tuhostní vlastnosti pryskyřice, která se snaží jednotlivá vlákna udržet v přímém směru a předejít tak deformaci.

Smyk

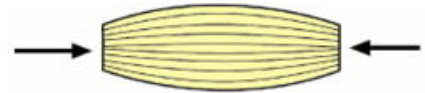
Při tomto způsobu namáhání mají jednotlivá vrstvy výztuže se posunovat vodorovně vůči sobě. Zde jsou rozhodující opět vlastnosti pryskyřice, a to zejména adhesivní vzhledem k vláknům výztuže.

Ohyb

Kombinace tří předchozích. Dle obrázku působí na horní vrstvy tlakové zatížení, na spodní tahové zatížení a uprostřed materiálu zatížení smykové.



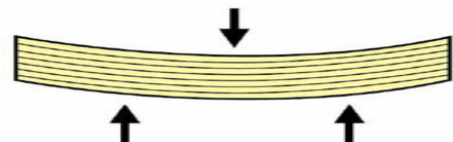
Obr. 30 Tahové zatížení kompozitního materiálu [14]



Obr. 31 Tlakové zatížení kompozitního materiálu [14]



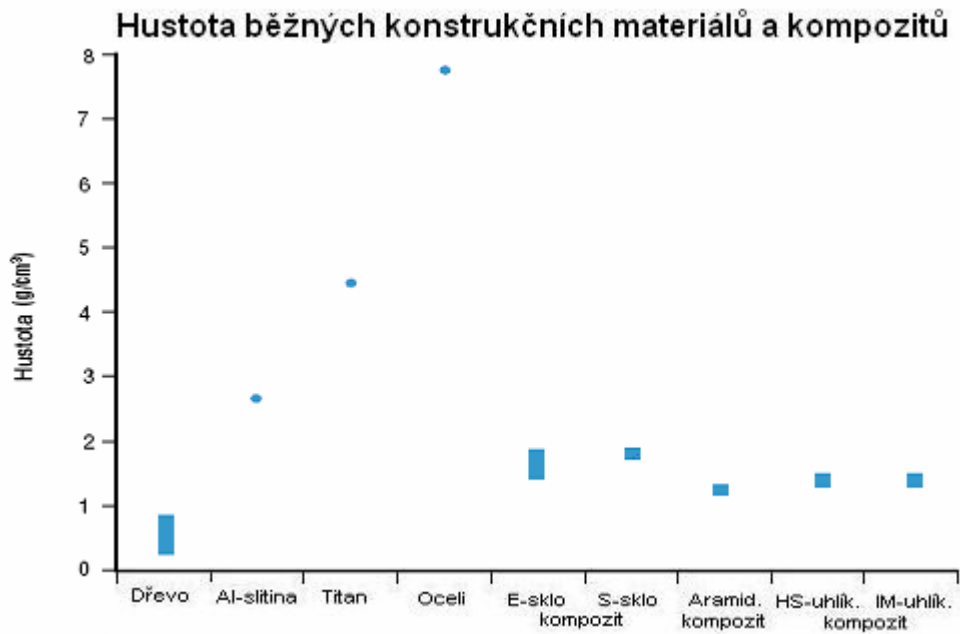
Obr. 32 Smykové zatížení kompozitního materiálu [14]



Obr. 33 Ohybové namáhání kompozitního materiálu [14]

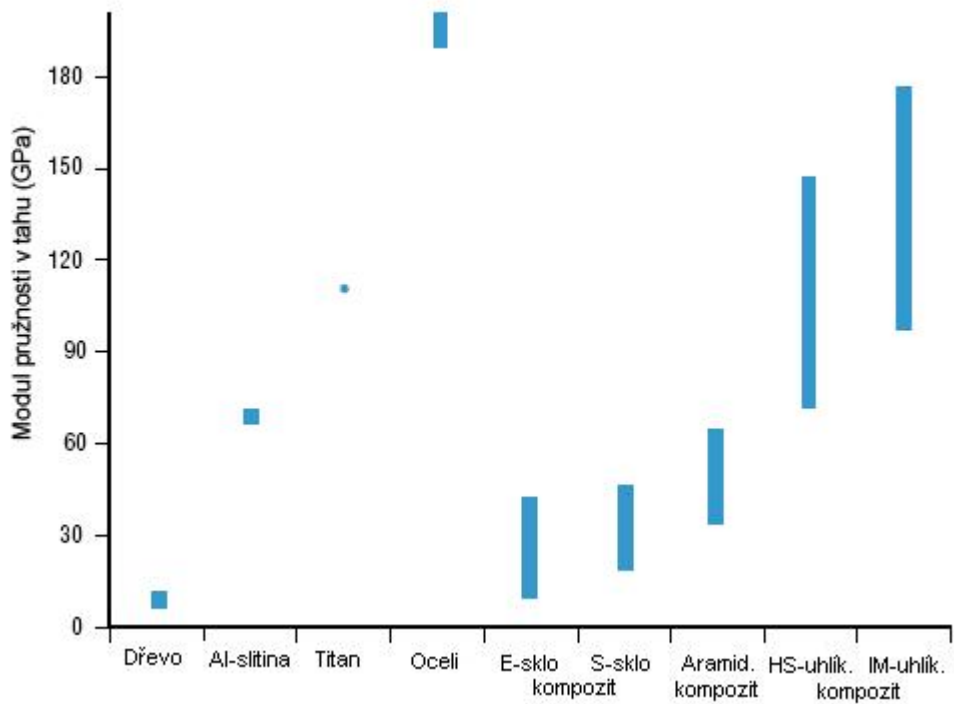
Srovnání kompozitů s polymerní matricí s jinými materiály

U různých materiálů se dá srovnávat několik jejich vlastností, jako jsou hustota, modul pružnosti v tahu, pevnost v tahu, modul pružnosti a pevnost v ohybu, tepelná vodivost, tepelná kapacita nebo roztažnost. V grafickém podání jsou zde první tři jmenované.



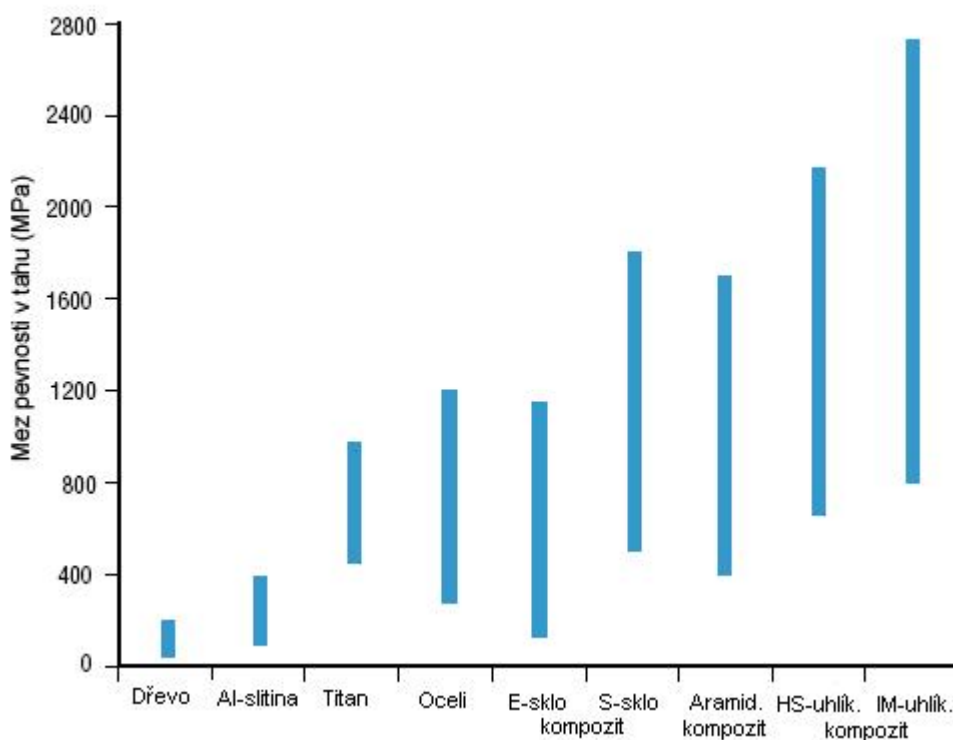
Graf 1. Hustota běžných konstrukčních materiálů a kompozitů [13]

Modul pružnosti v tahu běžných konstrukčních materiálů a kompozitů



Graf 2. Modul pružnosti běžných konstrukčních materiálů a kompozitů [13]

Mez pevnosti v tahu běžných konstrukčních materiálů a kompozitů



Graf 3. Mez pevnosti běžných konstrukčních materiálů a kompozitů [13]

Z výše uvedených grafů lze vyčíst jednu velkou výhodu, a to, že oproti ocelím mají kompozitní materiály s polymerní maticí několikrát menší hustotu, přibližně 3x (nižší hmotnost součástí). Také mez pevnosti v tahu těchto materiálů převyšuje i hodnoty pro vysokopevnostní oceli. Horší už je to s modulem pružnosti v tahu, který se liší dle použité výztuže. Může být nižší jen o několik desítek GPa (kompozity s uhlíkovými vlákny se středním modulem pružnosti – max. 180 GPa), nebo může být nižší několikrát (kompozity s výztuží z S-skla – 50 GPa). Jaký typ matrice a výztuže vybrat je otázkou konstruktéra a způsobu využití konstrukce a jejího zatěžování.

ALE, pevnost v tahu může být v případě jedné vrstvy materiálu s jednosměrnou výztuží až 2 000 MPa (pevnost v tlaku je asi 1500 MPa), ale jen ve směru vláken. Pevnost v tahu ve směru kolmém na vlákna je asi jen 70 MPa (v tlaku cca 150 MPa). V případě tkaniny (materiál jehož jedna vrstva má výztuž ve dvou na sebe vzájemně kolmých směrech) může být pevnost v tahu ve směrech výztuže až 900 MPa (v tlaku 800 MPa). Tato čísla platí pro výztuž z uhlíkových vláken. V případě tkaninové výztuže ze skelných vláken je pevnost v tahu i tlaku ve směru výztuže cca. 300 MPa, lit. [13].

Protože existují velké rozdíly v mechanických vlastnostech jedné vrstvy vzhledem ke směru zatěžování, tak se tyto materiály používají jako vrstvené a pak se výše uvedení hodnoty vztahují na jednu konkrétní vrstvu a ne na celý průřez.

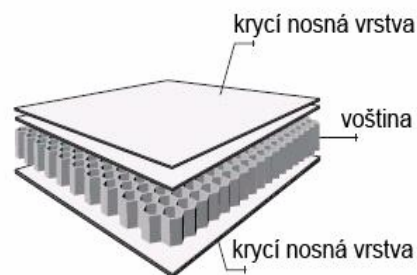
Obvyklé hodnoty hustoty kompozitního materiálu s uhlíkovou výztuží a epoxidovou pryskyřicí jako pojivem je asi 1500 kg/m^3 . Pro epoxidové pojivo a skelnou výztuž je to již 1800 kg/m^3 .

Sendvičové struktury

Další možností jak nahradit konstrukci zábrany s podélnými profily je využít další možnosti, kterou umožňuje EHK 73, a to vytvořit zábranu s rovinnou plochou. V tomto případě je řešení možné pomocí sendvičových struktur.

Sendvičová struktura je obecně tvořena jádrem uprostřed a pláště, mezi kterými se jádro nachází.

Jádro je většinou tvořeno **voštinovou strukturou**, která se liší jak použitým materiálem (tenký hliníkový plech, papír prosycený pryskyřicí) tak tvarem buňky (hexagonální, čtvercová, flexcore) nebo jsou vyplněna **tuhou pěnou** (na bázi polyuretanu, PVC, polystyrenu a dalších), která má ale oproti voštině o stejné hustotě horší mechanické vlastnosti, a nebo **balzou** (lehké dřevo se speciální strukturou a orientací vláken).



Obr. 34 Sendvičová struktura s voštinovým jádrem [13]

Pláště mohou být vyrobeny také z různých materiálů. Mohou to být lamináty z různých pryskyřic a výztuží nebo tenký hliníkový plech.

Díky dokonalému spojení jádra a pláště pomocí speciálních lepidel vznikne tuhá konstrukce, která dokáže odolat dynamickému namáhání i rázům. Konstrukce je díky použitým materiálům lehká a díky „uspořádání“ jednotlivých komponent pevná, tuhá, rezuvzdorná. Uplatňuje se v dopravních prostředcích (lodě, letadla, silniční vozidla) nebo také u lopatek větrných elektráren.

Výhody sendvičových struktur

- vysoký poměr pevnosti a tuhosti k hmotnosti
- odolnost vůči poškození rázy
- velmi dobré únavové vlastnosti

Porušení sendvičových struktur

- nedostatečná pevnost
 - porušení potahu
 - příčná smyková porucha
 - zborcení jádra
 - delaminace nebo zploštění jádra
- lokální nestabilita
 - ztráta stability potahu mezi stěnami buněk voštiny
 - zvlnění pláště
- globální ztráta stability
 - smykový lem – lokální porucha jádra ve smyku a posun pláště

Obecně, jak pro sendvičové struktury, tak pro ostatní typy kompozitních materiálů platí, že využití jejich vlastností není dáno jen vlastnostmi matrice a výztuže, ale taky jejich rozhraním. Proto se musí vlastnosti tohoto rozhraní optimalizovat. Za tímto účelem se provádí:

- Povrchová úprava chemická – zaměřena na povrch vláken
- Povrchová úprava nátěrem – nanesení povlaku
- Chemická úprava povrchu výztuže nátěrem – nátěr chemicky reaguje s povrchem výztuže

Lit. [13]

3 Materiálový a technologický rozbor vybraného konstrukčního uzlu

Tato kapitola informuje o návrhu konstrukce boční zábrany proti vklínění z jiných materiálů, než je původně použitá běžná ocel. Jednotlivé alternativy jsou uvedeny v kapitole č. 2. Zde bude popsána materiálová struktura s vlastnostmi již konkrétně navržených druhů materiálů, a také postup výroby (u kompozitního profilu). Kapitola bude ukončena diskuzí získaných výsledků.

Před tím, než začneme s popisem použitých materiálů, je nutné informovat o základním postupu dimenzování konstrukcí z nových (nebo jiných) materiálů, protože jednotlivé konstrukce jsou dimenzovány podle různých specifických požadavků. Může se jednat o náročnost využití, nebo působící napětí v konstrukci nebo o cenu. Ne vždy totiž je materiál využit na maximum a ne vždy rozhoduje pouze napětí v konstrukci (jak uvidíme později).

Hlavní kritéria pro dimenzování konstrukcí z nových materiálů:

- Sortiment polotovarů
 - Toto kritérium je závislé na technologických limitech současné výroby, a také na objemu výroby (velké série x malosériová výroba).
- Možnosti technologie zpracování
 - Jednotlivé technologie se budou lišit jednotlivě od použitých materiálů (budou se lišit technologie pro zpracování kompozitů a vysokopevnostních ocelí)
- Nutnost eliminace deformace konstrukcí
 - V našem případě je deformace konstrukce rozhodujícím kritériem pro její schválení. Pokud deformace konstrukce z jiného materiálu přesáhnou maximálně dovolenou hranici (pro zábranu jsou hodnoty maximálního průhybu uvedeny v předchozí kapitole) nelze tento materiál použít.
- Neznalost přesného zatěžování
 - V našem případě známe přesně způsob zkušebního zatěžování (bude uveden později), ale v etapě návrhu a vývoje nemůžeme nasimulovat nikdy způsoby zatěžování při běžném provozu.

- Nemožnost testování
 - V současné době souvisí s finančními možnostmi, které jsou dalším kritériem pro dimenzování. V našem případě bude mít vypovídající hodnotu testování pomocí programu MKP, lit [9]

3.1 Původní konstrukce - jednotlivé součásti zábrany

Celá konstrukce zábrany se skládá z jednotlivých částí (rozměry navrhovaných součástí viz výkresy – čísla příloh v následující tabulce), které jsou vyrobeny strojírenskými technologiemi z určitých polotovarů (plechy, trubky, tyče). Následující tabulky jasně ukáží z jakých částí se zábrana skládá, jaké byly použity polotovary (rozměry polotovarů), jaké množství je použito na 2 kompletní zábrany (na jedno vozidlo), počet kusů vyrobitelných z polotovaru a jaká je hmotnost té které jednotlivé součásti. Dále je zde uvedena i tloušťka plechu a mez kluzu materiálu polotovaru. Tyto poslední dvě informace jsou důležité pro návrh součástí z vysokopevnostního materiálu. Ostatní jsou potřeba pro výpočet hmotnostní úspory.

Součást	Polotovar	Rozměry polotovaru [mm]	Vyrobeno dle normy
Držák u třmenu	Tyč ocelová plochá neušlechtilá	80x5x6000	425522
Vložka	Tyč ocelová plochá neušlechtilá	90x8x6000	425522
Držák - konzola	Plech ocelový tlustý hladký	3x1000x2000	425308.11
Plech (spojuje profily)	Plech ocelový tlustý hladký	3x1250x2500	425308.11
Profil	Plech ocelový tenký hladký	2x1500x3000	425301.11
Svařený držák A	Trubka ocelová hladká bezešvá	51x4x6000	425715.01
Svařený držák B	Trubka ocelová hladká obdelníková	60x40x4x6000	425720
Třmen	Ocel kruhová tažená běžná	9x3000	426510.12

Tab. 17.1 Jednotlivé komponenty zábrany [2]

Součást	Použité množství [kg]	Poč. souč. z polotovaru [ks]	Hmotnost součásti [kg/ks]	Tloušťka plechu [mm]	Mez kluzu [MPa]	Výkres - číslo přílohy
Držák u třmenu	1	5	0,2	5	230	
Vložka	4,16	8	0,52	8	230	
Držák (konzola)	9,6	4	2,4	3	230	3
Plech (spojuje profily)	6	2	3	3	230	4
Profil	48	4	12	2	230	5
Svařený držák A	27,8	2	13,9			
Svařený držák B	4,4	4	1,1			
Třmen	0,43	5	0,086			

Tab 17.2 Pokračování Tab. 17.1 Jednotlivé komponenty zábrany [2]

Ke konstrukci patří i spojovací materiál. Veškerý spojovací materiál nemá velký vliv na celkovou hmotnost zábrany, ale má vliv na celkovou cenu. V případě náhrady původního materiálu za vysokopevnostní bude použit stejný spojovací materiál, tedy jeho cena bude stále stejná a nebudeme ji uvažovat do úspory finanční. Použitý spojovací materiál je uveden v následující tabulce.

Spojovací materiál	Rozměr	DIN	ČSN	Použité množství [ks]	Cena [Kč/ks]	Cena [celkem]
Šroub hrubý 4-ranný	M8x20	DIN 603	021319.55	8	1,11	8,88
Matice 6-hranná samojistná	M8	DIN 933	021492.55	8	0,41	3,28
Šroub přesný se 6 ti hrannou hlavou	M10x30	DIN 933	021103.55	8	0,85	6,80
Matice 6-hranná samojistná	M10	DIN 982	021492.55	16	0,7	11,20
Podložka ocelová	10,5		021702.15	16	0,16	2,56
Šroub přesný se 6 ti hrannou hlavou	M14x90	DIN 982	021103.55	8	5,06	40,48
Matice 6-hranná samojistná	M14	DIN 982	021492.55	8	1,58	12,64
Svařovací drát	prům. 1,2	DIN 102		0,07	34,64	2,42

Tab. 18 Spojovací materiál v konstrukci zábrany [2]

3.2 Pracovní postup při kompletaci zábrany

Nejprve se provede výroba jednotlivých součástí dostupnými výrobními technologiemi z daných polotovarů (jaká součást z jakého polotovaru viz výše).

Postupuje se takto:

1. Výroba konzol (4 ks), plechů spojujících podélné profily (2 ks), držáků třmenů (4 ks).
2. Výroba svařeného držáku (2 ks) z trubky ocelové bezešvé a trubky obdélníkové.
3. Výroba třmenu z tažené kruhové běžné oceli (4 ks).
4. Výroba podélného profilu (4 ks) a vložek (8 ks).
5. Svařené držáky (2ks) jsou připevněny pomocí držáků třmenů a třmenů pomocí matic M10 a podložek 10,5 k základnímu rámu (dvěma podélníkům) .
6. K svařeným držákům jsou připevněny konzoly pomocí zajišťovacích kolíků (4 ks – z důvodu možnosti vyklopení zábrany) a šroubu M14 x 90 s maticí M14.

7. Ke konzolám se pomocí čtvercových vložek a šroubu M10 x 30, matice M10 a podložky 10,5 připevní podélné profily.
8. Na konce profilů, které se nacházejí blíže přední části vozu, se připevní plechy spojující profily, a to pomocí šroubů M8 x 20 a matic M8 a podložek 10,5.
9. Nátěr obou zábran.

Pro materiálový a technologický rozbor předpokládáme:

- dodavatel má v sortimentu vše co potřebujeme
- vlastní dostupné technologie jsou plně dostačující
- nejsme limitováni povrchovou ochranou
- můžeme ověřit vlastnosti konstrukce (metodou MKP), lit. [9]

3.3 Vlastní návrh č 1. - vysokopevnostní ocel

Konkrétní návrh změny materiálu bude (po domluvě) proveden na součástech z tabulky č. 8. šedě zvýrazněných (podélné profily, plechy spojující profily a konzoly). Jedná se o součásti, pro které je jako polotovar použit plech. Je to výhodné, protože firma SSAB, jako výrobce a dodavatel vysokopevnostních materiálů, které hledáme, je již v současnosti dodavatelem materiálů pro jiné části vozidel firmy PANA V a.s.. Navíc je k dispozici nejvíce informací o produkci plechů.

Z uvedeného přehledu vysokopevnostních ocelí z produkce firmy SSAB a vzhledem k bezpečnostnímu charakteru zábrany jsem vybral oceli s obchodní značkou DOCOL, konkrétně DOCOL 800 DP a DOCOL ROLL 1000 (označení dle meze pevnosti). Zopakování základních vlastností je uvedeno dále.

DOCOL 800 DP

Tyto materiály jsou vyráběny v kontinuální žíhací lince. V ní dochází k tvorbě dvoufázové struktury. První fáze – feritická – dává dobré tvárné vlastnosti a fáze druhá – martenzitická – zvyšuje pevnost materiálu.

Materiály DOCOL se vyznačují dobrou tvařitelností a vzhledem k chemickému složení také dobrou svařitelností.

Tyto materiály jsou vhodné pro výsledky této práce zejména díky možnosti:

- snížení hmotnosti
- zjednodušení výroby

- zvýšení bezpečnosti, únosnosti a užitečného zatížení
- delší životnosti

Hlavní oblasti použití jsou bezpečnostní díly v automobilech (části dveří, rámy, nárazníky, výztuže). Další informace viz. kapitola č. 2.

DOCOL ROLL 1000

Stejně jako DOCOL 800 jsou tepelně zpracovávány v kontinuální žhací lince. Vysoký poměr meze kluzu a meze pevnosti zajišťuje že napětí ve vysoce tvářených oblastech a v mírně tvářených oblastech jsou srovnatelná. Malé rozdíly ve zbytkových prutích v průřezu snižují sklon k ohýbání a kroucení profilu.

Typické aplikace jsou nosníky proti bočnímu nárazu, výztuhy nárazníku nebo vodící lišty sedadel, lit [5].

Vlastnosti původního materiálu a nových materiálů

Materiál	Mez kluzu [MPa]		Mez pevnosti [MPa]		Tažnost [%]	Obsah uhlíku [%]
	OD	DO	OD	DO		
11 373 (S235JRG2)	175	235	340	500	21 - 26	0,18
DOCOL 800DP	500	650	800	950	10	0,13
DOCOL ROLL 1000	850		1000	1200	5	0,18

Tab. 19 Vlastnosti původního materiálu a vysokopevnostních ocelí [15]

Při pohledu na tabulku č. 19 je zjevné, že vysokopevnostní materiály mají ve všech směrech lepší vlastnosti, kromě tažnosti, která je nižší díky vysoké pevnosti materiálů. Vysoká pevnost je hlavní výhodou těchto materiálů. Obsah uhlíku je stejný nebo i nižší, proto lze provést svařování obvyklými metodami (obloukové svařování kovem v ochranné atmosféře, manuální obloukové svařování - MMA, TIG-svařování, plazmové svařování a laserové svařování).

Název součásti	Polotovár	Hmotnost polotovaru [kg]	Počet součástí výrobitelných z polotovaru	Hmotnost jedné součásti [kg]	Tloušťka plechu [mm]	Mez kluzu [Mpa]
Držák (konzola)	Plech ocelový tlustý hladký	9,6	4	2,4	3	230
Plech (spojuje profily)	Plech ocelový tlustý hladký	6	2	3	3	230
Profil	Plech ocelový tenký hladký	48	4	12	2	230

Tab. 20 Vybrané součásti pro náhradu za vysokopevnostní oceli [15]

Základ pro veškerý odhad úspor je vzorec, pomocí kterého určíme tloušťku plechu z vysokopevnostní oceli, lit [5].

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} \quad (1)$$

t_2 - tloušťka materiálu z vysokopevnostní oceli

t_1 - tloušťka materiálu z běžné oceli

R_{e1} - mez kluzu materiálu z běžné oceli

R_{e2} - mez kluzu materiálu z vysokopevnostní oceli

3.3.1 Výpočty

Tloušťky materiálů DOCOL 800 DP pro jednotlivé součásti zábrany

Konzola - $t_1 = 3\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{230}{600}} = 1,86\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 2 \text{ mm.} \quad (2)$$

Plech spojující profily - $t_1 = 3\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{230}{600}} = 1,86\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 2 \text{ mm.} \quad (3)$$

Podélné profily - $t_1 = 2\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{230}{600}} = 1,24\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 1,5 \text{ mm.} \quad (4)$$

Tloušťky materiálů DOCOL ROLL 1000 pro jednotlivé součásti zábrany

Konzola - $t_1 = 3\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{230}{850}} = 1,56\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 1,7 \text{ mm.} \quad (5)$$

Plech spojující profily - $t_1 = 3\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{230}{850}} = 1,56\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 1,7 \text{ mm.} \quad (6)$$

Podélné profily - $t_1 = 2\text{mm}$

$$t_2 = t_1 \cdot \sqrt{\frac{R_{e1}}{R_{e2}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{230}{850}} = 1,04\text{mm} \text{ zaokrouhleno na } 1,2 \text{ mm.} \quad (7)$$

3.3.1.1 Výpočet hmotností součástí z vysokopevnostní oceli

Ze známé tloušťky, ostatních rozměrů a hustoty oceli vypočteme hmotnost součástí.

Postup výpočtu: Ze známé hustoty oceli ρ , původní hmotnosti m_1 a tloušťky t_1 určíme plochu S , která je konstantní (mění se jen tloušťka plechu). Pomocí vypočtené plochy povrchu součástí určíme hmotnost m_2 s novou, menší tloušťkou t_2 .

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} \Rightarrow m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 \quad (8)$$

Materiál DOCOL 800

Konzola – $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 2$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{2,4}{7850 \cdot 0,003} = 0,102 m^2 \quad (9)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,102 \cdot 0,002 = 1,60 kg$$

Plech spojující profily – $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 2$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{3}{7850 \cdot 0,003} = 0,127 m^2 \quad (10)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,127 \cdot 0,002 = 1,99 kg$$

Podélný profil – $t_1 = 2$ mm, $t_2 = 1,5$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{12}{7850 \cdot 0,002} = 0,51 m^2 \quad (11)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,51 \cdot 0,0015 = 8,00 kg$$

Materiál DOCOL ROLL 1000

Konzola - $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 1,7$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{2,4}{7850 \cdot 0,003} = 0,102 m^2 \quad (12)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,102 \cdot 0,0017 = 1,36 kg$$

Plech spojující profily - $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 1,7$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{3}{7850 \cdot 0,003} = 0,127 m^2 \quad (13)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,127 \cdot 0,0017 = 1,69 kg$$

Podélný profil - $t_1 = 2$ mm, $t_2 = 1,2$ mm, ve výpočtu hodnoty v metrech

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot t_1 \Rightarrow S = \frac{m}{\rho \cdot t_1} = \frac{12}{7850 \cdot 0,002} = 0,51 m^2 \quad (14)$$

$$m_2 = \rho \cdot S \cdot t_2 = 7850 \cdot 0,51 \cdot 0,0012 = 4,8 kg$$

3.3.1.2 Výpočet hmotnostní úspory L_m

Uřídíme celkovou hmotnost součástí použitých v konstrukci tj. 4x hmotnost profilu, 2x hmotnost plechů spojujících profily a 4x hmotnost konzoly.

Pak postup výpočtu úspor:

$$L_m = \frac{m_{c1} - m_{c2}}{m_{c2}} \cdot 100 \quad (15)$$

kde m_{c1} - původní hmotnost, m_{c2} - „nová“ hmotnost

Celková hmotnost z mat. ČSN 11 373 $m_{c1} = 63,6$ kg

Celková hmotnost z materiálu DOCOL 800 $m_{c2} = 42,08$ kg

Úspora hmotnosti

$$L_{m1} = \frac{63,6 - 42,08}{63,6} \cdot 100 = \underline{\underline{33,8\%}} \quad (16)$$

Celková hmotnost z materiálu DOCOL ROLL 1000 $m_{c2} = 28,02$ kg

Úspora hmotnosti

$$L_{m2} = \frac{63,6 - 28,02}{63,6} \cdot 100 = \underline{\underline{55,9\%}} \quad (17)$$

	Konzola	Plech spojující profily	Profil
Původní tloušťka	3 mm	3 mm	2 mm
Původní hmotnost součástí [kg]	2,4	3	12
"Nová" tloušťka pro DOCOL 800	2 mm	2 mm	1,5 mm
"Nová" hmotnost součástí pro DOCOL 800 [kg]	1,6	1,99	8
"Nová" tloušťka pro DOCOL ROLL 1000	1,7 mm	1,7 mm	1,2 mm
"Nová" hmotnost součástí pro DOCOL ROLL 1000 [kg]	1,36	1,69	4,8
Počet součástí v konstrukci	4	2	4
Celková hmotnost součástí použitých v konstrukci [kg]	ČSN 11 373	63,6	
	DOCOL 800 DP	42,38	
	DOCOL ROLL 1000	28,02	
Úspora hmotnosti pro DOCOL 800	<u>33,38%</u>		
Úspora hmotnosti pro DOCOL ROLL 1000	<u>55,90%</u>		

Tab. 21 Přehled výsledků pro vysokopevnostní oceli [15]

3.3.2 Předběžná analýza metodou MKP – vysokopevnostní oceli

Tato analýza dává informaci o deformaci konstrukce. Zkoušení konstrukce zábrany podléhá předpisu EHK 73, kde je uveden maximální dovolený průhyb konstrukce při určité zatěžovací síle.

Maximální dovolený průhyb:

- 30 mm v délkovém rozmezí 250 mm od zadního konce zábrany
- 150 mm u ostatních částí zábrany

Na konstrukci se působí silou 1kN pomocí beranu o průměru 220mm \pm 10mm ve vodorovném směru a výše zmiňované dovolené průhyby znamenají, že se pro každý typ materiálu provede dvojí analýza, lit [22].

Ta bude prováděna v programu ProEngineer.

Modelování

Zde jsou vytvořeny jednotlivé součásti zábrany. Pro urychlení výpočtu budou všechny součásti bez zaoblení hran, a pro zjednodušení bude konstrukce tvořena právě jen výše jmenovanými součástmi (konzola, podélné profily, plech spojující profily), tzn. nejsou brány v úvahu šroubové spoje (pro připevnění podélných profilů ke konzolám a plechu spojujícího podélné profily), a ani vložky, které s daným šroubovým spojem připevňují profily. Jakoby šlo o svařenec. Celá sestava tvořená jednotlivými součástmi je pak uložena jako „shrinkwrap“. Po znovuotevření takto uložené sestavy je sestava jako jedno pevné těleso.

Příprava před zatěžováním

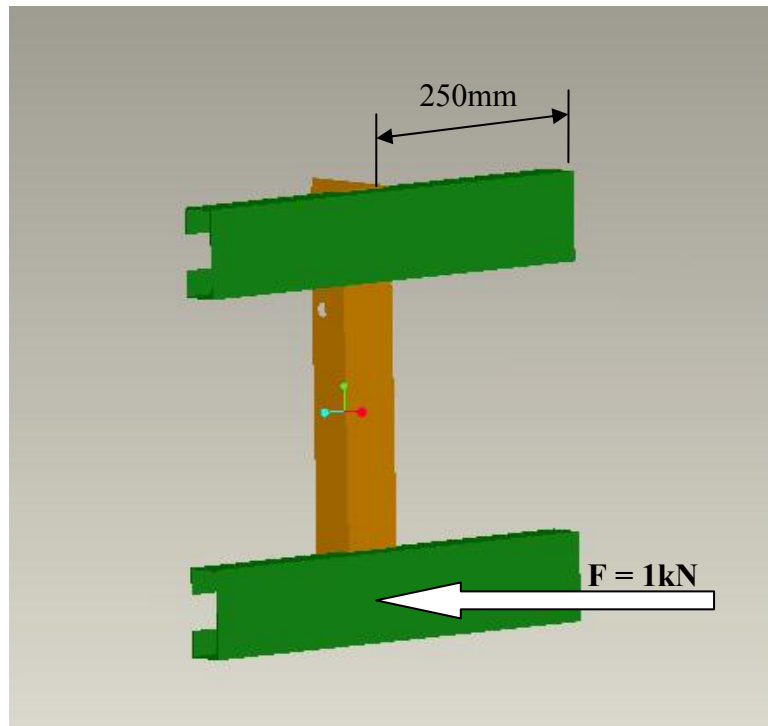
Analýza v tomto programu je výhodná, protože má v sobě modul ProMechanica s funkcí AutoGEM, která automaticky vytvoří mesh (diskretizaci) celé konstrukce. Tato sestava pak bude uchycena v místech otvorů pro šroubový spoj a kolík na konzole. Způsob zatěžování je uveden dále.

Výběr místa pro zkušební zatěžování

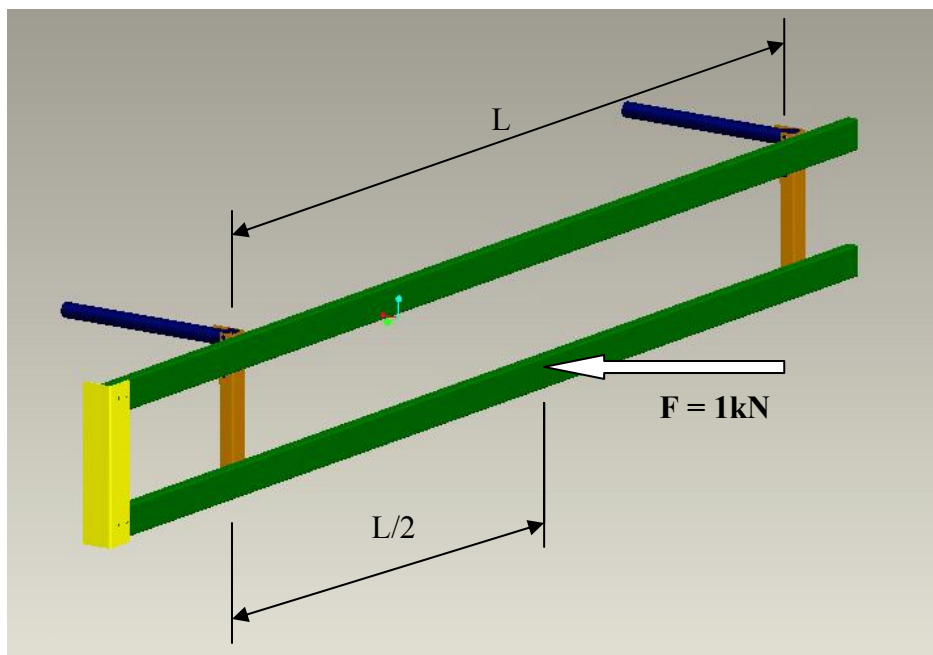
Největší deformace (průhyb) konstrukce se budou vyskytovat na spodním podélném profilu, uprostřed mezi konzolami, ke kterým je profil připevněn. Profil připevněný ke dvěma konzolám si můžeme představit jako nosník na dvou podporách. Přesně v polovině vzdálenosti obou podpor bude působit největší ohybový moment a bude zde vznikat největší průhyb. Průhyb v tomto místě bude při vodorovném působení síly ještě zvětšovat moment na rameni, které je určeno vzdáleností od místa připevnění konzoly ke svařenému držáku (pomocí šroubu a kolíku, které budou namáhány na stříh) po nejspodnější část zábrany, kterým je spodní podélný profil. Působíště síly bude uprostřed šířky profilu.

Dovolený průhyb 30 mm v délkovém rozmezí 250 mm od zadního konce zábrany dává informaci, že tento průhyb se kontroluje v místě připevnění podélného profilu ke konzole. Působíště síly tedy bude uprostřed šířky profilu připevněného ke konzole a síla bude směřovat přímo do místa připevnění.

Náhled pro výběr místa je na následujících dvou obrázcích:



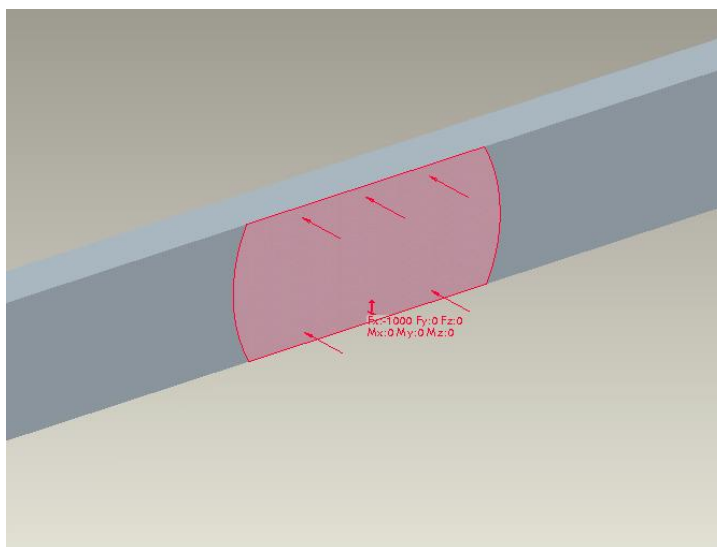
Obr. 35 Výběr místa působíště síly pro kontrolu průhybu konstrukce v délkovém rozmezí 250mm od zadního konce zábrany [15]



Obr. 36 Výběr místa působíště síly pro kontrolu průhybu ostatních míst konstrukce [15]

Způsob zatěžování

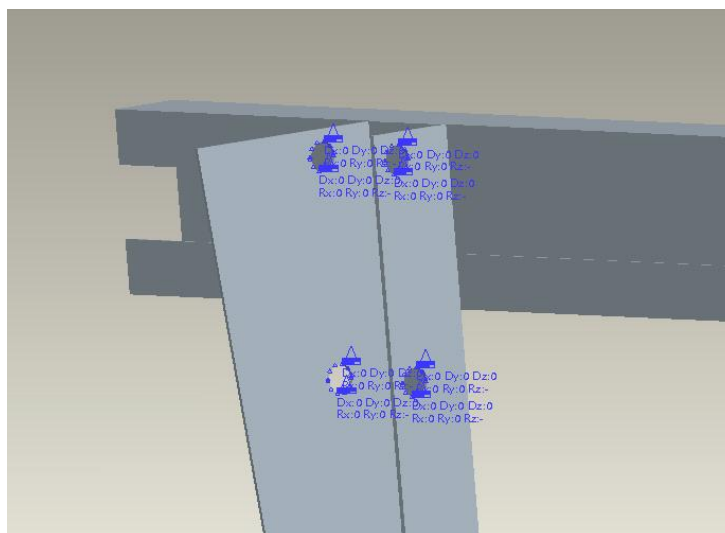
Jak bylo popsáno výše, konstrukce je zatěžována statickou silou 1kN působící kolmo na zábranu ve vodorovném směru pomocí beranu o průměru 220mm. Pro tento způsob zatěžování bylo nutné nasimulovat plochu o průměru 220mm přímo na daném profilu. Zkušební síla působí skutečně na kruhovou plochu, ale na obrázku níže, je zobrazena pouze část, která působí přímo na profil.



Obr. 37 Zatížení profilu zkušební silou 1kN [15]

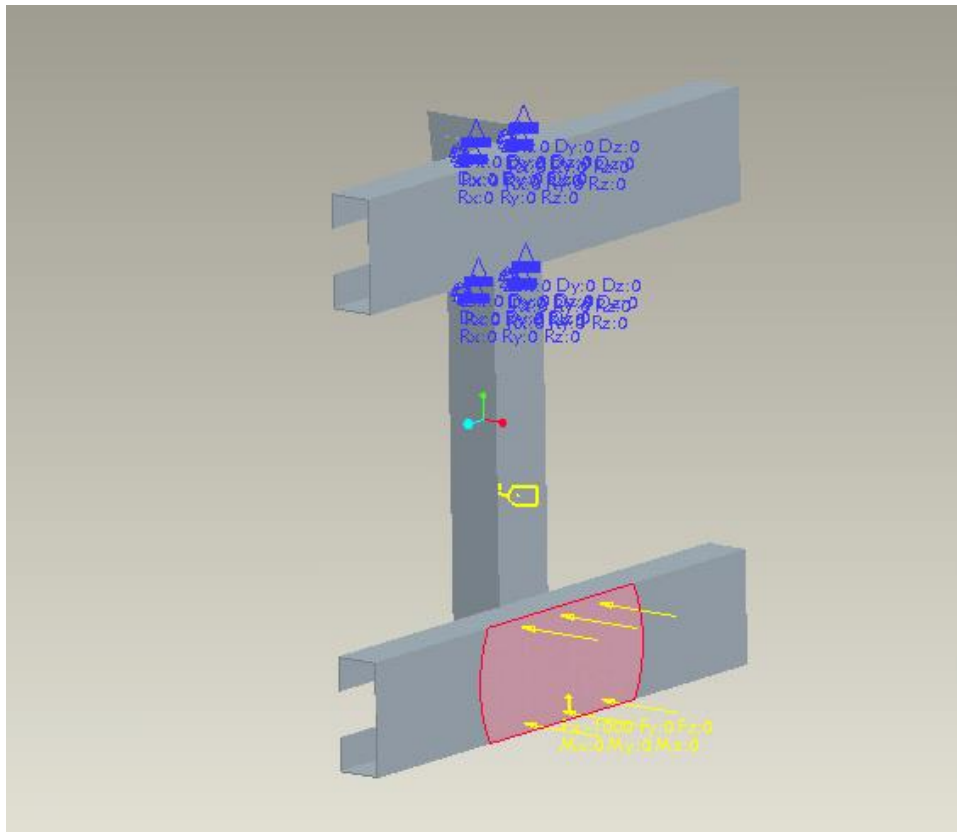
Uložení konstrukce

Na dalším obrázku je způsob uchycení konstrukce (konzoly), které simuluje připevnění konstrukce k svařenému držáku (viz obrázek) pomocí horních děr pro šroub a spodních děr pro vyjímatelný kolík. Při tomto způsobu uložení byly konstrukci odebrány všechny stupně volnosti.

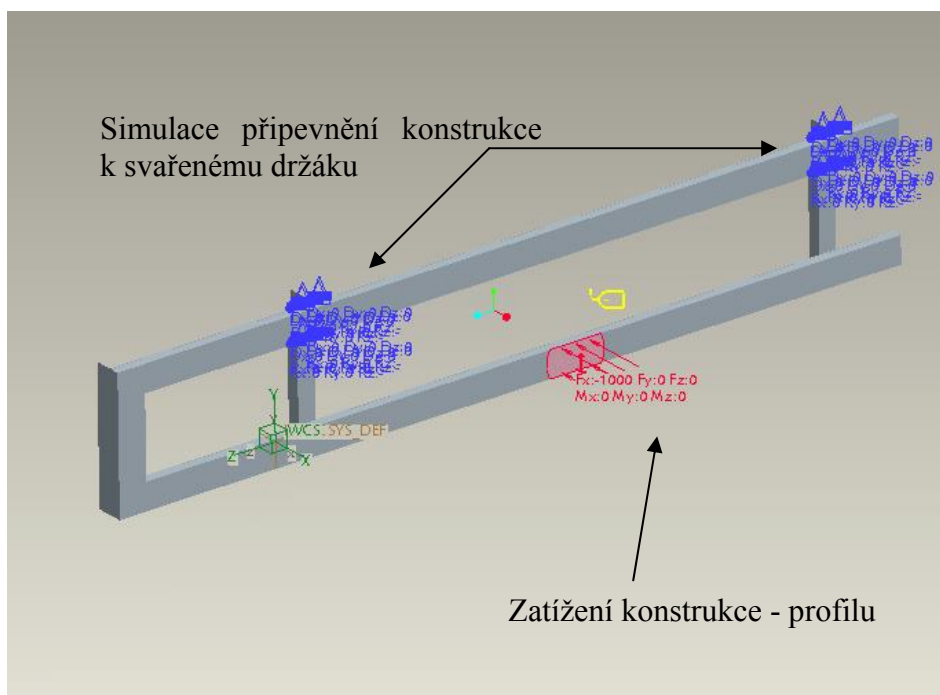


Obr. 38 Simulace připevnění konstrukce k svařenému držáku pomocí šroubového spoje a kolíku [15]

Celkové náhledy



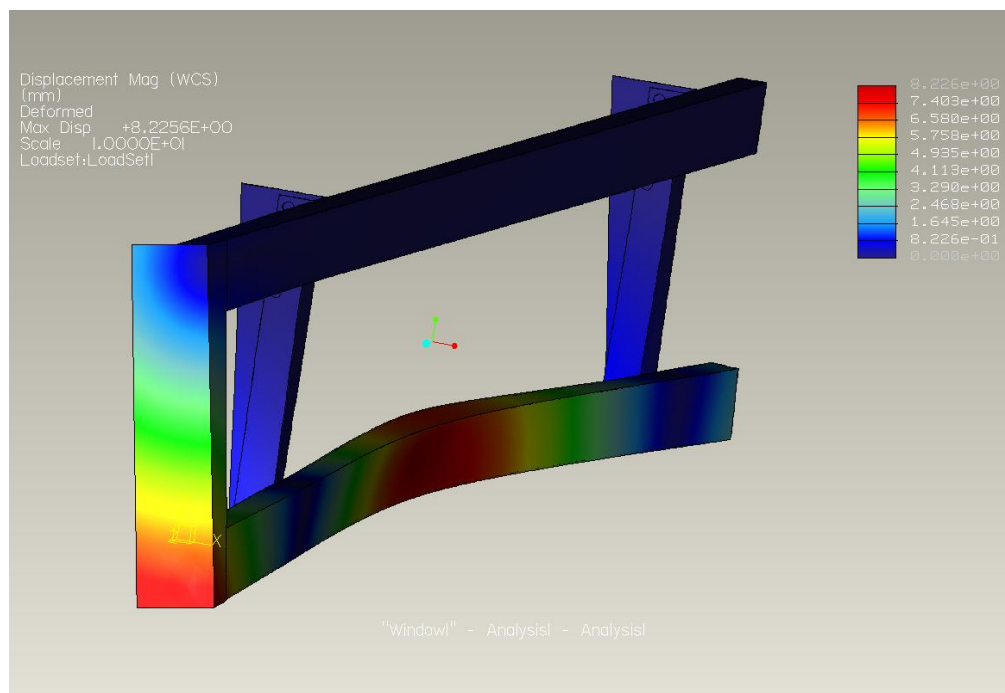
Obr. 39 Náhled na sestavu konzoly před spuštěním analýzy [15]



Obr. 40 Náhled na celou konstrukci před spuštěním analýzy [15]

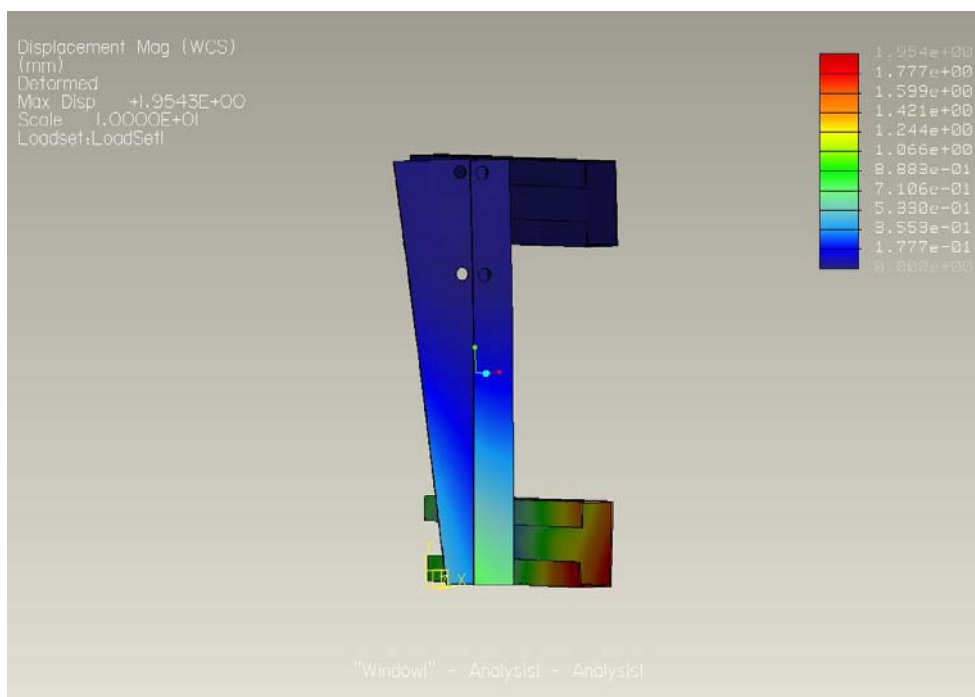
3.3.3 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – materiál DOCOL 800 DP

(Tloušťky plechů: Konzola – 2mm; Plech spojující profily – 2mm; Podélný profil – 1,5mm)



Obr. 41 Posuvy jednotlivých částí konstrukce z materiálu DOCOL 800 DP [15]

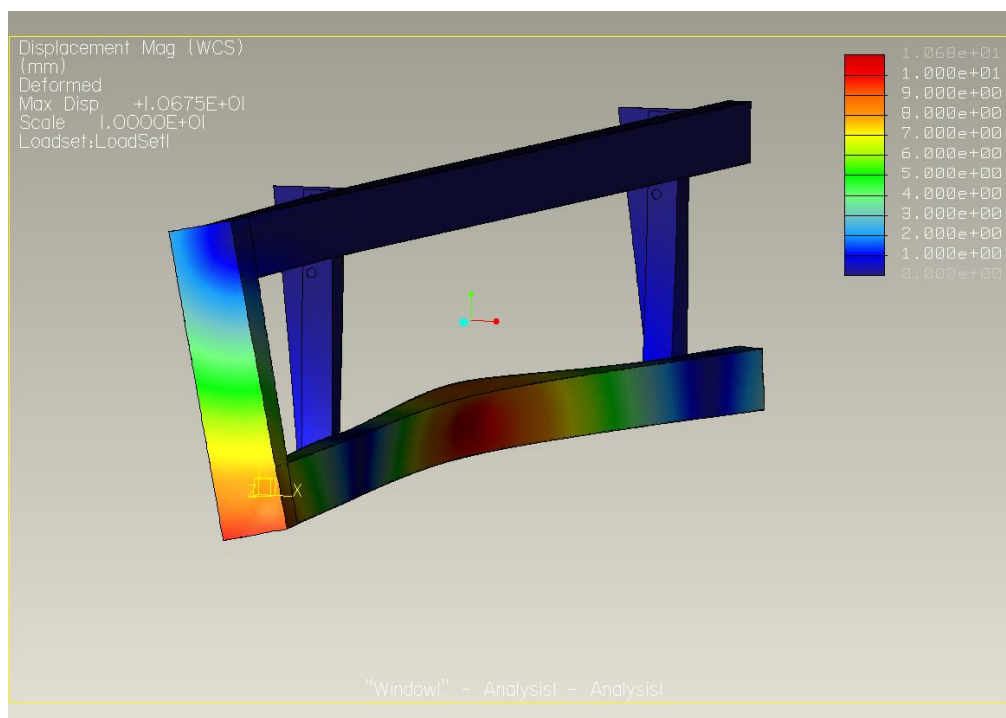
3.3.4 Výsledky analýzy průhybu konzoly – materiál DOCOL 800 DP



Obr. 42 Průhyb konzoly z materiálu DOCOL 800 DP [15]

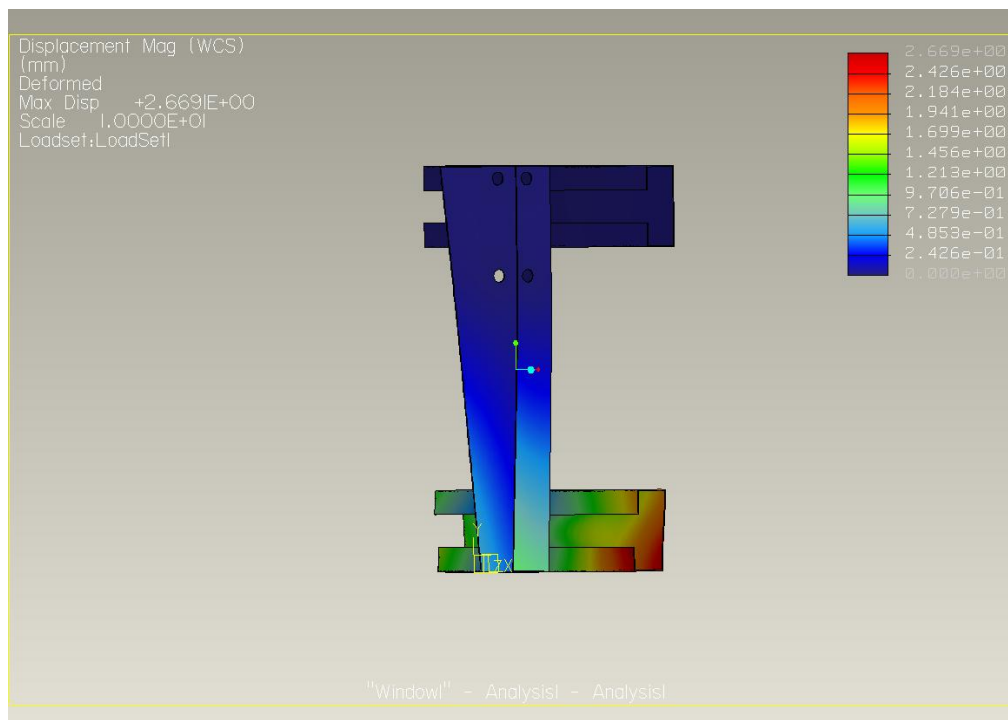
3.3.5 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – materiál DOCOL ROLL 1000

(Tloušťky pl.: Konzola – 1,7mm; Plech spojující profily – 1,7mm; Podélný profil – 1,2mm)



Obr. 43 Posuvy jednotlivých částí konstrukce z materiálu DOCOL ROLL 1000 [15]

3.3.6 Výsledky analýzy průhybu konzoly – materiál DOCOL ROLL 1000



Obr. 44 Průhyb konzoly z materiálu DOCOL ROLL 1000 [15]

3.3.7 Dílčí závěr

Žádná část konstrukce ani konzoly se neprohnula o více, než je dovolených 150 mm resp. 30 mm. Tato skutečnost platí pro oba navržené typy materiálů DOCOL 800 DP i DOCOL ROLL 1000.

Maximální průhyby jednotlivých částí konstrukce zábrany jsou pro materiál DOCOL ROLL 1000 větší, a to z důvodu menší tloušťky plechu jednotlivých částí. Maximální průhyb konstrukce z materiálu DOCOL 800 DP dosáhl necelých 8,3 mm (pro DOCOL ROLL 1000 necelých 11 mm), což dokazuje, že tloušťky plechů, ze kterých se jednotlivé části vyrobí, je více než dostatečná.

Maximální zobrazený průhyb konzoly (světle modrá barva) z materiálu DOCOL 800 DP činí asi 0,5 mm (okolo 0,8 mm pro DOCOL ROLL 1000) při působení dané síly. Rezerva na maximální dovolený průhyb je velká. Pro analýzu průhybu konzoly byly podélné profily zkráceny na délku 0,5 m, protože rozhodující byl průhyb konzoly, který činil zmiňovaných 0,5 mm a nemaximální průhyb (posuv) celé konstrukce, který činil asi necelé 2 mm. Tento posuv byl naměřen na konci profilu a vznikl díky kroucení konzoly vlivem konstrukce jí samotné a vlivem působící síly. Zobrazení deformací bylo 10x zvětšeno.

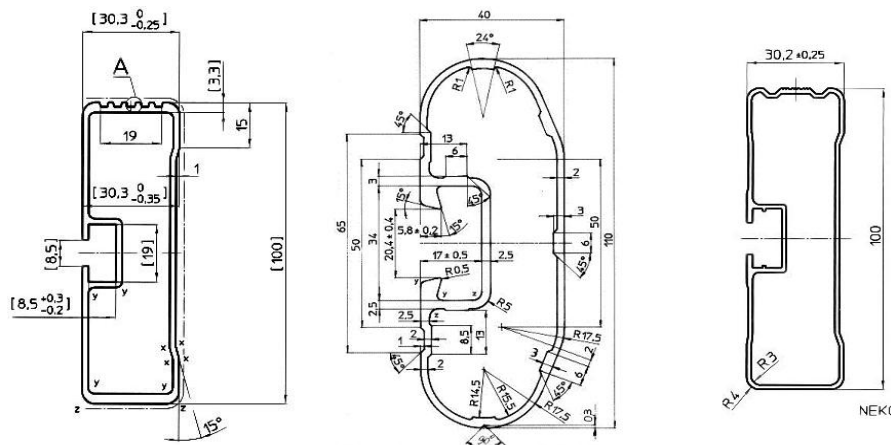
Z materiálového hlediska jsou konstrukce z obou materiálů taktéž vyhovující. Ve výsledku všech analýz se neobjevila napětí vyšší, než jsou meze kluzu jednotlivých materiálů. Pokud by došlo k překročení meze kluzu, ocitli bychom se v nelineární oblasti pracovního diagramu daného materiálu a hrozilo by riziko vzniku zárodku plastického kloubu. Při proplastizování celého průřezu materiálu by se model mohl stát mechanismem a ten nedokáže přenášet žádné zatížení. Součinitel bezpečnosti bereme $k = 1$.

Jak je vidět na obrázcích výsledků analýzy (viz **Příloha 6**), největší napětí se při zkušebním zatížení (konzoly i celé konstrukce) vyskytuje v oblasti děr pro připevnění konstrukce pomocí šroubu a kolíku ke svařenému držáku. Žádné hodnoty napětí nepřekročily hodnotu meze kluzu. Pro materiál DOCOL 800 DP (mez kluzu 600 MPa) byly hodnoty napětí 333,5 MPa (celá konstrukce) a 160,8 MPa (konzola) a pro materiál DOCOL ROLL 1000 (mez kluzu 850 MPa) byly hodnoty napětí 444,5 MPa (celá konstrukce) a 256,0 MPa (konzola).

Oba materiály jsou dle analýzy vyhovující, ale je třeba brát ohled na skutečnost, že model byl zjednodušen. Pro analýzu byl použit model, kdy součásti jsou pevně spojené k sobě (jakoby svařené), ale ve skutečnosti je pro spojování použito nýtů a šroubů!

3.4 Vlastní návrh č. 2 – hliníková slitina

V současnosti jsou již zábrany z hliníkových slitin dostupné. Předním výrobcem zábran z tohoto materiálu je firma Trans-technik s.r.o. Tato firma má již vlastní koncepci konstrukce zábrany, jejíž jednotlivé části se od sebe liší. Některé více, některé méně.



Obr. 45 Typy profilů pro zábrany z hliníkových slitin [14]

Tato firma má homologaci na zábrany tohoto typu z pevnostního hlediska, proto analýza v MKP není nutná.

Pokud bychom ovšem zůstali u konstrukce s rozměry jednotlivých součástí shodnými s rozměry součástí z materiálu DOCOL 800 DP, ale z hliníkové slitiny, tak hmotnosti a úspory hmotnosti by byly asi takovéto.

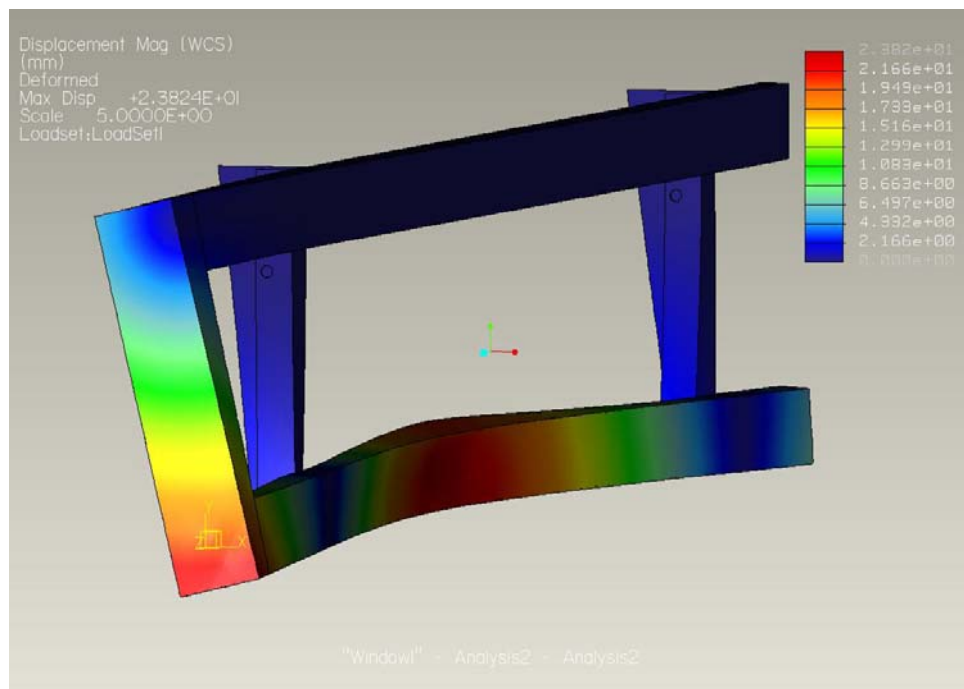
	Konzola	Plech spojovací profily	Profil
Počet součástí	4	2	4
Původní tloušťka	3 mm	3 mm	2 mm
Původní hmotnost součástí [kg]	2,4	3	12
Celková hmotnost součástí [kg]	63,6		
Tloušťka plechu z Al-slitiny	2mm	2mm	1,5mm
Hmotnost součástí z Al-slitiny [kg]	0,8	0,85	3,9
Celková hmotnost součástí z Al-slitiny [kg]	20,5		
Úspora hmotnosti při použití Al-slitiny	<u>67,8%</u>		

Tab. 22 Přehled výsledků pro hliníkové slitiny [15]

3.4.1 Analýza metodou MKP – hliníková slitina

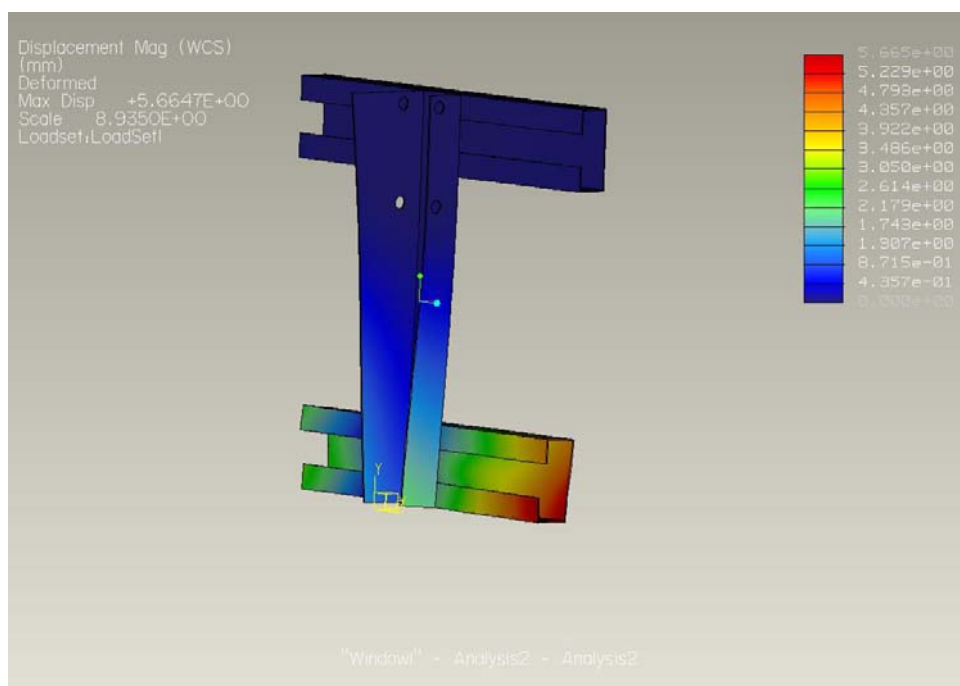
Součásti byly původního tvaru a tloušťek, konstrukce byla stejně uchycena a stejně zatěžována. Jediný rozdíl byl v přiřazení materiálu dané konstrukci, kterým byla teď hliníková slitina s označením v knihovně materiálů programu ProEngineer AL6061, dle normy EN AW-6061 (AL Mg1SiCu, mez kluzu 240 MPa). Ostatní části (svařený držák a další) by byly z původní běžné oceli. Výsledek analýzy viz následující obrázky.

3.4.2 Výsledky analýzy průhybu celé konstrukce – hliníková slitina



Obr. 46 Posuvy jednotlivých částí zábrany z hliníkové slitiny [15]

3.4.3 Výsledky analýzy průhybu konzoly – hliníková slitina



Obr. 47 Průhyb konzoly z hliníkové slitiny [15]

3.4.4 Dílčí závěr

Z hodnot pro maximální posuvy celé konstrukce i konzoly je vidět, že i konstrukce z hliníkové slitiny by vyhověla požadavkům EHK 73 z hlediska průhybů. Maximální průhyb konstrukce činil necelých 24 mm. Tato hodnota platí pro vzdálenost konzol 2,0 m. Pokud bychom tuto vzdálenost zvětšili na maximální dovolenou (3,0 m), tak by tento průhyb byl ještě větší, ale nejspíše by nepřekročil hodnotu maximální dovolenou. Pokud by průhyb byl větší než dovolených 150 mm, tak by nebyl problém umístit ještě jednu konzolu mezi původní dvě. To by ovšem činilo potíže, protože by bylo nutné použít další svařený držák, který by nám opět zvyšoval celkovou hmotnost (ať by byl vyroben z hliníkové slitiny nebo původní oceli).

U konzoly byla hodnota průhybu okolo 2,5 mm, což je větší než u vysokopevnostní oceli, ale stále menší, než je maximálně dovolený. Dosud je konstrukce vyhovující. Zobrazení deformací 5x zvětšeno.

Z materiálového hlediska je ale návrh jednotlivých součástí z této slitiny hliníku nevyhovující. Mez kluzu této slitiny je na úrovni 240 MPa, jak pro plechy tak i lisované profily, přičemž analýzou celé konstrukce jsme dosáhli hodnoty napětí 298,6 MPa viz **Příloha 7** (hodnota napětí u analýzy konzoly již tedy není rozhodující). Překročením meze

kluzu jsme se dostali již do nelineární části pracovního diagramu materiálu. Při zkoušení by došlo ke vzniku plastického kloubu, který snižuje únosnost konstrukce, což je nepřípustné. I zde je nutno brát ohled na zjednodušení modelu pro analýzu.

Možným řešením je nalézt materiál o vyšší mezi kluzu a to materiál EN AW-7022 (Al Zn5Mg3Cu). Plechy, pásy a desky¹ mají mez kluzu až 370 MPa, tyče trubky a profily² ze stejného typu materiálu mají mez kluzu 420 MPa, což by mělo být již dostačující. Jinak více informací o tomto a jiných slitinách hliníku viz literatura v poznámce pod čarou.

Aby konstrukce vyhověla, bylo by možné provést analýzu s použitím plechů o větší tloušťce, ale pak by se změnila i celková hmotnost a úspory, jak hmotnostní, tak finanční.

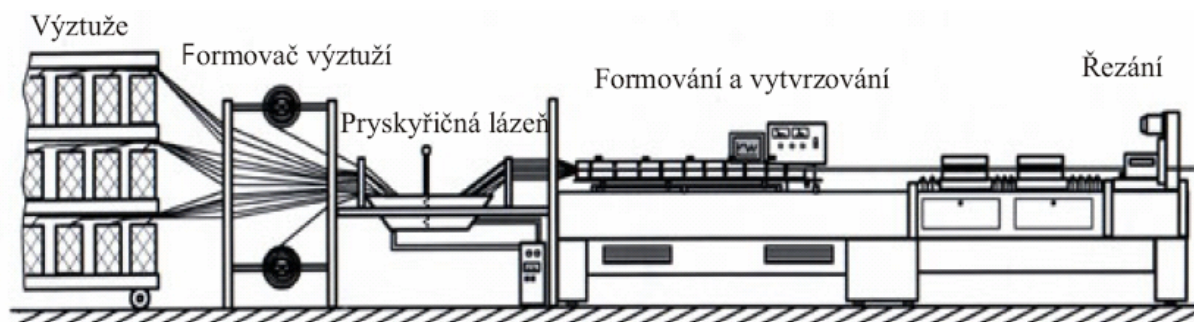
¹ ČSN EN 485-2:2007. *Hliník a slitiny hliníku – plechy, pásy a desky – Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha : Český normalizační institut, 2007. 52 s.

² ČSN EN 755-2:1999. *Hliník a slitiny hliníku – Lisované tyče, trubky a profily – Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha : Český normalizační institut, 1999. 48 s.

3.5 Vlastní návrh č. 3 – kompozitní materiál

Návrh kompozitu jako alternativního materiálu by se dal s velkou výhodou využít u podélných profilů. Velkou nevýhodou je, že profil vyrobený níže uvedenou technologií by byl řazen do konstrukce se součástmi ocelovými. Problematika takové kombinace použitých materiálů vyžaduje hlubší zkoumání. Zejména pro analýzu pomocí MKP programů by to vyžadovalo mnohem více času a lepší výpočetní techniku a software. Kromě předchozích, je také nutná znalost fyzikálních a mechanických vlastností jednotlivých částí kompozitů a také vlastnosti na rozmezí výztuž x matrice. To vše i s ohledem na časový harmonogram přesahuje rámec této práce, a proto je u tohoto návrhu upuštěno od MKP analýzy, kdy samotná tvorba modelu profilu je náročná a v programu ProEngineer nedokonalá. Zkoumání tohoto návrhu je pouze tedy v oblasti technologické, a v další kapitole finanční.

Vraťme se k návrhu podélného profilu z kompozitního materiálu. Po diskuzi se zástupci několika firem z oblasti kompozitních materiálů, byla navržena nejvhodnější metoda pro výrobu podélného profilu metoda tažením, jiným slovem PULTRUZÍ. Pro náš případ je nejvhodnější E-sklo jako výztuž, matrice z polyesterové pryskyřice, a na povrchu netkaný textil jako antikoroziční činitel. Schéma výroby je na následujícím obrázku.



Obr. 48 Výroba kompozitních profilů pultruzí [13]

Postup výroby je zcela jasný. Svazek vláken (rohoží a tkanin) jako výztuže se táhne pryskyřičnou lázní kde dochází k prosycení výztuže. Pryskyřičná lázeň navíc může obsahovat plniva, barviva a další přísady pro zlepšení vlastností. Pak se takto prosycená výztuž vede skrze formu požadovaného tvaru, kde dojde zároveň k vytvrzení v kontinuuální vytvrzovací hlavě. Poslední částí procesu je řezání na požadovanou délku. Výsledná struktura takového materiálu viz obrázek.



Obr. 49 Struktura materiálu vyrobeného pultruzní technologií [13]

Další možné vlastnosti – polyesterový laminát se skleněnou jednosměrnou výztuží

Vlastnost	Jednotky	Hodnota
Mez pevnosti v tahu	MPa	500 - 520
Modul pružnosti v tahu	GPa	43 – 45
Poměrné prodloužení max	%	0,8 – 1,3
Pevnost v ohybu	MPa	700 – 900
Modul pružnosti v ohybu	GPa	32 – 48
Poměrné stlačení	%	8,5 – 10,5
Rázová houževnatost	kJ/m ²	300 – 400

Tab. 23 Mechanické vlastnosti pultruzních profilů [13]

Vlastnosti navrhovaného pultruzního profilu

Původní, v současnosti používaný, ocelový podélný profil se vyrábí z plechu o tloušťce 2 mm. Profil vyrobený pultruzní technologií by měl stěnu tlustou 3 mm. Většinu objemu by tvořila výztuha z E-skla (75% hmotnosti) a polyesterová pryskyřice. Jak již bylo zmíněno, tak na povrchu z důvodu antikorozi ochrany by byl netkaný textil – rohož, jejíž tloušťka stěny by byla 0,2mm.

3.5.1 Výpočet úspory hmotnosti

Pro výpočet hmotnosti použijeme níže uvedenou celkovou hustotu materiálu profilu ($\rho = 1,8 \text{ g/cm}^3$) a délku profilu bereme jako u předešlých výpočtů $l = 3,0 \text{ m}$, s – šířka plechu pro výrobu profilu před ohýbáním, t – tloušťka profilu.

$$m = \rho \cdot V$$

$$V = s \cdot l \cdot t = 240 \cdot 3000 \cdot 3 = 2880000 \text{ mm}^3 = 2880 \text{ cm}^3 \quad (18)$$

$$m = 1,8 \cdot 2880 = 5184 \text{ g} \cong \underline{\underline{5,2 \text{ kg}}}$$

Materiál	Ocel 11 373. 1	Kompozit
Hmotnost [kg]	12	5,2
Hustota [g/cm ³]	7,85	1,8
Úspora hmotnosti [%]	56,6	

Tab. 24 Úspora hmotnosti při použití kompozitního materiálu [15]

3.5.2 Dílčí závěr

Jak bylo uvedeno výše, náročná problematika analýzy konstrukce zábrany s podélnými profily z kompozitního materiálu bez dostatečného množství informací a programového vybavení nedá plnohodnotný výsledek. To by bylo předmětem dalšího zkoumání. Musíme se tedy spokojit s výsledkem ve formě úspor hmotnosti a financí, jak je uvedeno v další kapitole. Hodnocení z hlediska úspory hmotnosti vyznělo také lépe než u vysokopevnostních materiálů. Úspora hmotnosti 56,6% je dobrá, ale jak je uvedeno později, vzhledem k úspoře financí ani tato hodnota není ideální.

4 Zhodnocení ekonomických aspektů navrženého konstrukčního řešení

V době tvorby této práce, kdy panuje po celém světě ekonomická krize, která zasahuje do všech oblastí lidské činnosti je cena jedním z hlavních, ne-li hlavním parametrem, který rozhoduje o využití nových a kvalitnějších materiálů (automobilový průmysl, stavebnictví,...).

Ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů alternativních materiálů pro konstrukci zábrany spočívá v konečném důsledku v porovnání stávající ceny a ceny daného „nového“ materiálu.

4.1 Návrh 1. – Vysokopevnostní ocel

Postup výpočtů je jasný z následujících tabulek. Nejprve určí celková hmotnost jednotlivých součástí z původního materiálu (běžná ocel), pak se díky známé kilogramové ceně určí dílčí cena za použitý materiál na tyto součásti. Po sečtení těchto dílčích cen dostaneme cenu celkovou, která se porovná s celkovou cenou za materiál „nový“. Celková cena za vysokopevnostní oceli se určí stejným postupem. Dílčí a celkové výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Součást	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Použité množství [kg]	Cena/kg [Kč]	Cena použitého množství [Kč]	Počet kusů	Cena jednoho kusu [Kč]
Držák (konzola)	11 373.1	3	9,6	20,9	200,64	4	50,16
Plech spojovací profily		3	6	19,18	115,08	2	57,54
Profil		2	48	14,9	715,2	4	178,80
Celkem			63,6		1030,92		

Tab. 25 Cenová kalkulace součástí zábrany z původní běžné oceli [2]

Součást	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Použité množství [kg]	Cena/kg [Kč]	Cena použitého množství [Kč]	Počet kusů	Cena jednoho kusu [Kč]
Držák (konzola)	DOCOL 800	2	6,4	28,0	179,2	4	44,80
Plech spojovací profily		2	3,98		111,44	2	55,72
Profil		1,5	32		896	4	224,00
Celkem			42,38		1186,6		

Tab. 26 Cenová kalkulace součástí zábrany z oceli DOCOL 800 DP [15]

Součást	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Použité množství [kg]	Cena/kg [Kč]	Cena použitého množství [Kč]	Počet kusů	Cena jednoho kusu [Kč]
Držák (konzola)	DOCOL ROLL 1000	1,7	5,44	29,0	157,76	4	38,21
Plech spojující profily		1,7	3,38		98,02	2	41,91
Profil		1,2	19,2		556,80	4	139,20
Celkem			28,02		812,58		

Tab. 27 Cenová kalkulace součástí zábrany z oceli DOCOL ROLL 1000 [15]

Materiál	Cena použitého množství [Kč]	Úspora [%]
11 373.1	1030,92	0
DOCOL 800 DP	1186,6	-15,10
DOCOL ROLL 1000	812,58	21,18

Tab. 28 Úspory při použití vysokopevnostních ocelí [15]

Informace o ceně materiálů byly získány od dodavatele (SSAB), kdy přibližná cena těchto materiálů byla 1020 € za DOCOL 800 DP a 1060 € za DOCOL ROLL 1000, což při kurzu 27,30 Kč/€ v době výpočtu bylo po zaokrouhlení 28,0 Kč za 1kg materiálu DOCOL 800 DP a 29,0 Kč za 1 kg materiálu DOCOL ROLL 1000.

4.1.1 Dílčí závěr

Při pohledu na poslední tabulku s vyhodnocením celkových úspor při použití vysokopevnostních ocelí se jeví jako nejvhodnější řešení ocel DOCOL ROLL 1000, kdy úspora dosáhla kladné hodnoty i při použití výrazně dražšího materiálu. Je to hlavně díky úspoře hmotnosti. Tento materiál se může jevit jako nejvhodnější a nejvýhodnější řešení, ale problém je v jeho zpracování. Díky vysokým mechanickým vlastnostem mohou vzniknout problémy při zpracování strojírenskými technologiemi. V našem případě se jedná hlavně o vrtání děr pro šroubové a kolíkové spoje a o ohýbání na ohraňovacích lisech. Na druhou stranu vzhledem k malé tloušťce těchto materiálů by to neměl být zase tak výrazný problém.

4.2 Návrh 2. – Hliníkové slitiny

Pro cenové srovnání stávajícího řešení zábrany z běžné oceli a zábrany z hliníkových slitin stejné konstrukce bereme známou cenu 2,584 € za kilogram materiálu hliníkové slitiny a pak ceny součástí konstrukce od firmy Trans-technik. Oba typy jsou vyhodnoceny zvlášť.

Jak bylo zmíněno v kapitole 3. u analýzy konstrukce z hliníkových slitin metodou MKP, právě tato firma z oblasti výroby příslušenství pro nákladní a přípojné vozidla s názvem Trans-technik s.r.o., má ve své nabídce výrobu a prodej zábrany proti vklínění z hliníkových slitin, dle vlastní koncepce. Tuto koncepci zábrany má homologovanou z hlediska pevnosti, proto nebyla provedena analýza metodou MKP v předchozí kapitole. Zde je pak využito pouze stávajících informací této firmy o cenách, za které se dají jednotlivé součásti pořídit.

Celá konstrukce zábrany této firmy je jednodušší v tom, že není použito svařených držáků pro připevnění konzol, ale konzoly jsou připevněny pomocí speciálních držáků přímo k základnímu rámu. Jinak další konstrukce je srovnatelná s konstrukcí analyzovanou (podélné profily připevněné ke konzolám a v přední části spojené svislým ohýbaným plechem).

Cenová kalkulace jednotlivých součástí pro zábranu stejných rozměrů se zábranou původní jsou uvedeny dále. Postup výpočtu je stejný jako pro vysokopevnostní oceli.

4.2.1 Úspory pro konstrukci původních rozměrů z hliníkové slitiny

Součást	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Hmotnost jednoho kusu [kg]	Počet kusů	Použité množství [kg]	Celková cena materiálu [Kč/kg]	Cena použitého množství [Kč]
Držák (konzola)	Al slitina	2	0,8	4	3,2	68,8	220,16
Plech spojující profily		2	0,85	2	1,7		116,96
Profil		1,5	3,9	4	15,6		1073,28
Celkem					20,5		1410,40

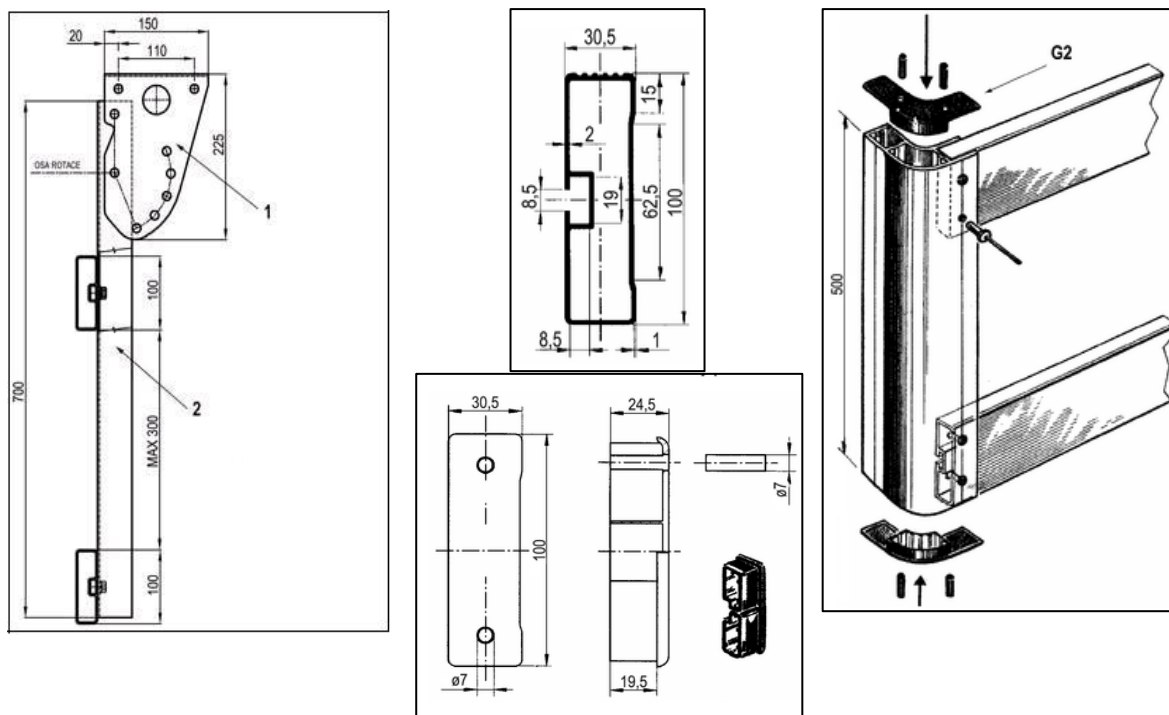
Tab. 29 Cenová kalkulace součástí zábrany z hliníkové slitiny [15]

Materiál	Cena použitého množství [Kč]	Úspora [%]
11 373.1	1030,92	0
Al slitina	1410,40	-36,8

Tab. 30 Úspory při použití hliníkové slitiny [15]

4.2.2 Úspory při použití konstrukce firmy Trans-technik

Na obrázku 49. jsou vyobrazeny všechny součásti potřebné ke kompletaci zábrany z hliníkových slitin. Na zmiňovaném obrázku úplně vlevo je zobrazen držák (poz. 1.), který je připevněn šroubovým spojem ke spodní straně základního rámu podvozku spolu s konzolou (poz. 2.). Na obrázku uprostřed nahoře je příčný řez podélným profilem a dole je výkres záslepky zaslepující zadní konec profilů. Poslední obrázek úplně vpravo zobrazuje způsob montáže ohýbaného profilu k podélným profilům a utěsnění pomocí záslepek.



Obr. 50 Součásti zábrany z hliníkových slitin [13]

Ceny a hmotnosti jednotlivých součástí potřebných pro dvě kompletní zábrany (pro jedno vozidlo) spolu s vyhodnocením úspor jsou uvedeny v následující tabulce. Více o jednotlivých částech této konstrukce viz literatura [13].

Součásti potřebné na 2 zábrany (na jedno vozidlo)	Cena [Kč]	Hmotnost [Kg]
4 x Držák	624,0	4,88
4 x Konzola	824,0	8,8
4 x Spojovací díly	328,0	1,4
4 x Pouzdra	92,0	0,04
4x Profily 3255 mm	3372,0	19,52
4 x záslepka	80,0	0,08
2 x Oblok. Profil	470,0	2,2
Celkem	5790,0	36,92
Původní hmotnost [Kg]	101,39	
Původní cena [Kč]	2165,37	
Úspora hmotnostní [%]	63,59	
Úspora finanční [%]	-167,39	

Tab. 31 Vyhodnocení úspor při použití konstrukce zábrany z hliníkových slitin firmy Trans-technik [15]

4.2.3 Dílčí závěr

Tabulka 30. ukazuje, že při použití původních rozměrů zábrany, ale z hliníkové slitiny, dojde ke zvýšení nákladů za pořízení materiálu o necelých 37%. V určitém kompromisu úspora ceny x úspora hmotnosti je to dobrý výsledek.

Naopak v tabulce 31., díky použití jiné konstrukce zábrany došlo také k výrazné úspoře hmotnosti, ale za příliš velkou cenu, která byla 2,5x vyšší než cena původní. Ani takovéto snížení hmotnosti touto konstrukcí se nevyplatí, pokud je pořizovací cena takto vysoká. Ani verze, kdybychom využili pouze hliníkových podélných profilů a ponechali zbytek původní konstrukce, se nevyplatí. Při původní ceně profilů 715 Kč a hmotnosti 48 kg bychom dosáhli hmotnostní úspory podobné (necelých 63 %), ale za víc jak čtyřnásobné zvýšení ceny.

4.3 Návrh 3. – Kompozitní profily

Jak je uvedeno výše, otázka využití kompozitních profilů se týká pouze **podélných profilů**, které by se vyráběly pultruzní technologií (tažením). Dle informací o fyzikálních vlastnostech podélného profilu jako celku vyrobeného pultruzní technologií jsme určili hodnotu hmotnostní úspory, která činila necelých 57 %. Úspora hmotnosti je o něco vyšší, než při použití vysokopevnostních ocelí.

Cena byla předem odhadnuta na 100 Kč/kg. Při délce profilu 3 m a jeho hmotnosti 5,2 kg je celková cena za jeden profil 520 Kč. Ostatní výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

	Profil z běžné oceli	Profil z kompozitního materiálu
Hmotnost profilu [kg]	12	5,2
Cena za 1 kg materiálu [Kč]	14,9	100,0
Použité množství na jednom vozidle [kg]	48	20,8
Celková cena profilu [Kč]	715,2	2080
Hmotnostní úspora	56,67	
Finanční úspora [%]	-190,83	

Tab. 32 Vyhodnocení úspor při výrobě podélných profilů z kompozitních materiálů [15]

4.3.1 Dílčí závěr

Hmotnostní úspora opět vyšší, než při použití vysokopevnostních ocelí, ale nižší, než při použití konstrukce z hliníkových slitin a konstrukce od firmy Trans-technik. Dosažení takové úspory hmotnosti je skvělé, ale při pohledu na tabulku je to opět za příliš vysokou cenu, která je téměř trojnásobná.

Dalším problémem by bylo výše zmíněné spojování s ocelovými součástmi tak, aby nedocházelo k degradaci materiálu, jeho roztřepení atd., při běžném provozu vlivem otřesů. To je otázkou pro další zkoumání.

5 Vlastní stanovisko k řešené problematice na základě provedených analýz

Návrh 1. – Vsokopevnostní oceli

	Celková hmotnost analyzované konstrukce [kg]	Hmotnostní úspora [%]	Celková cena analyzované konstrukce [Kč]	Finanční úspora [%]
ČSN 11 373	63,6	0	1030,92	0
DOCOL 800 DP [kg]	42,08	33,38	1155	-15,10
DOCOL ROLL 1000 [kg]	28,02	55,9	812,58	21,18

Tab. 33 Shrnutí výsledků při použití vysokopevnostních ocelí [15]

Návrh 2. – Hliníkové slitiny

	Celková hmotnost analyzované konstrukce [kg]	Hmotnostní úspora [%]	Celková cena analyzované konstrukce [Kč]	Finanční úspora [%]
ČSN 11373	63,6	0	1030,92	0
Hliníková slitina	20,5	67,8	1410,40	-36,8

Tab. 34 Shrnutí výsledků při použití hliníkové slitiny na původní konstrukci [15]

	Hmotnost celé konstrukce [kg]	Hmotnostní úspora [%]	Cena celé konstrukce [Kč]	Finanční úspora [%]
PANAV	101,39	0	2165,37	0
Trans-technik	36,92	63,59	5790	-167,39

Tab. 35 Shrnutí výsledků při použití konstrukce fy. Trans-technik z hliníkové slitiny [15]

Návrh 3. – Kompozitní materiál

	Hmotnost materiálu použitého na profily [kg]	Hmotnostní úspora [%]	Cena materiálu použitého na profily [Kč]	Finanční úspora [%]
ČSN 11373	48	0	715,2	0
Kompozit	20,8	56,67	2080	-190,83

Tab. 36 Shrnutí výsledků při použití podélného profilu z kompozitního materiálu [15]

Při pohledu na všechny tabulky je jasné, že každý alternativní materiál, který by se dal použít, má své klady i zápory. U všech tří typů se podařilo dosáhnout úspory hmotnosti 20% a více. S finančními úsporami je to již horší. Z hlediska dosažených úspor hmotnosti se jasně jako nejvýhodnější jeví konstrukce z hliníkové slitiny. Pokud bychom vyráběli zábrany původní konstrukce a původních rozměrů, tak dosáhneme úspory 67,8 % za cenu o třetinu

vyšší než je cena původní konstrukce. Problémem je nalezení vhodného dodavatele materiálů, který by dodával plechy pro výrobu konzol a spojovacích plechů a předem vyrobené profily, které by se vyráběly tlacením přes formu. Tento způsob výroby je výhodný z toho důvodu, že si můžeme zvolit přesnou délku profilu, tudíž by nevznikal žádný odpad. Nevýhodou je, že by musela být vyrobena forma pro daný profil, jejíž cena se pohybuje okolo 100 000 Kč. Při výrobě většího množství profilů, by se to již vyplatilo. Při dané úspoře by se tato investice rychle navrátila.

Pokud bychom využili nabídky firmy Trans-Technik, tak by úspora byla 63,59 %. Nevýhodou konstrukcí zábran tohoto typu je jeho vysoká cena, která je (u firmy Trans-technik) více jak dvojnásobná.

Neosvědčila by se ani varianta výroby podélného profilu z kompozitního materiálu. Dosažená úspora hmotnosti je nižší než u hliníkových slitin, a navíc je ještě dražší. Další nevýhodou je informace, že pro výrobu tohoto profilu by se musela vyrobit vlastní forma, která by formovala vlákna s matricí do požadovaného tvaru profilu. Její cena se pohybuje okolo 160 000,-Kč. Tuto částku by hradil odběratel výrobku (Panav a.s.) a nebo výrobce s tím, že by byla rozpočítána na konečné výrobky, což by ještě víc zvýšilo cenu tohoto výrobku.

Jako vhodnou variantu bych volil vysokopevnostní ocel, protože pro tento materiál je znám dodavatel. Dosažená úspora hmotnosti je ze všech tří variant nejnižší, ale stále hodně přesahuje 20-ti procentní hranici (u obou typů ocelí) a je nutné podotknout, že je to za velmi dobrou finanční úsporu. Zdražení materiálu o 15 % u oceli DOCOL 800 DP při úspoře hmotnosti 33,4 % je výborné.

Zjevně nejlepších výsledků bylo dosaženo pro ocel DOCOL ROLL 1000, kdy použitý materiál je při úspoře téměř 56 % hmotnosti dokonce o více jak 20 % levnější než původní, což je způsobeno právě velkou úsporou hmotnosti. Úspora hmotnosti není tak velká jako u zábran z hliníkových slitin, ale zde bude rozhodující úspora také finanční. Všechny tloušťky plechů, které by byly použity pro výrobu jednotlivých součástí jsou současným dodavatelem výrobitelné a konečným odběratelem, vzhledem k malé tloušťce, také zpracovatelné.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [2] *PANAV a.s.* [online]. 2005 [cit. 2009-04-13]. Dostupný z WWW: <www.panav.cz>.
- [3] *Trans-technik spol. s r.o.* [online]. 2005 [cit. 2009-04-07]. Dostupný z WWW: <www.trans-technik.cz>.
- [4] *SAF Holland* [online]. 2009 [cit. 2009-03-16]. Dostupný z WWW: <www.safholland.com>.
- [5] *SSAB swedish steel* [online]. 2003 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <www.ssab.com>.
- [6] *WABCO* [online]. 2007 [cit. 2009-03-16]. Dostupný z WWW: <www.wabco-auto.com>.
- [7] *JOST world* [online]. 2001- [cit. 2009-03-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.jost-world.com>>.
- [8] *Knorr bremsse* [online]. 2009 [cit. 2009-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.knorr-bremsse.de/>>.
- [9] Prezentace *Nové konstrukční materiály*, Ing. Josef Zapletal, PANAV a.s.
- [10] *EWT Truck & Trailer* [online]. 2006 [cit. 2009-03-07]. Dostupný z WWW: <www.ewt.cz>.
- [11] *Přípojná vozidla SVAN* [online]. 2004-2009 [cit. 2009-03-07]. Dostupný z WWW: <www.svan.cz>.
- [12] *RioTintoAlcan* [online]. 2007 [cit. 2009-03-11]. Dostupný z WWW: <www.alcan.cz>.
- [13] *GDP Komposite solution* [online]. 2006-2009 [cit. 2009-03-14]. Dostupný z WWW: <www.gdpkoral.cz>.
- [14] *ELLRI, s.r.o. výrobce kompozitních dílů* [online]. 2002 [cit. 2009-03-19]. Dostupný z WWW: <www.ellri.cz>.
- [15] MODELY, VÝPOČTY, TABULKY: Autor
- [16] Přednášky z předmětu Teorie konstruování, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Ing. Jan Krmela, PhD
- [17] ČSN EN 485-2:2007. *Hliník a slitiny hliníku – plechy, pásy a desky – Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha : Český normalizační institut, 2007. 52 s.
- [18] ČSN EN 755-2:1999. *Hliník a slitiny hliníku – Lisované tyče, trubky a profily – Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha : Český normalizační institut, 1999. 48 s.

- [19] SKOČOVSKÝ, Petr, BOKŮVKA, Otakar, PALČEK, Peter. Nauka o materiáli. 2. vyd. Žilina : Vysoká škola dopravy a spojov, 1996. 201 s. ISBN 80-7100-303-4.
- [20] FIALA, Jaroslav, MENTL, Václav, ŠUTTA, Pavol. Struktura a vlastnosti materiálů. Praha : Academia, 2003. 572 s. ISBN 80-200-1223-0.
- [21] Prezentace *Aplikace perspektivních materiálů a technologií jejich výroby v oblasti dopravní techniky*, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Doc. Dr. Ing. Libor Beneš.
- [22] Předpis EHK-OSN č. 73: *Jednotná ustanovení pro homologaci nákladních automobilů, přívěsů a návěsů z hlediska jejich boční ochrany*. Platnost od 1.1.1988, zahrnující revize od 16.10.1995. 13 s.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Žebřinový rám	11
Obr. 2 – Tvar podélníku žebřinového rámu	12
Obr. 3 – Tuhá náprava s bubnovými brzdami	17
Obr. 4 – Agregát nápravy SAF INTRA ALL-IN	18
Obr. 5 – Sdružený agregát SAF	18
Obr. 6 – Pneumatická pera firmy WABCO	18
Obr. 7 – Pneumatická pružina s pružným dorazem	18
Obr. 8 – Listová pružina	19
Obr. 9 – Komponenty pneumatických brzd firmy Knorr	20
Obr. 10 – Točna – JOST	20
Obr. 11 – Královský čep	20
Obr. 12 – Spojovací zařízení rockinger	20
Obr. 13 – Ložisko otočné nápravy JOST	20
Obr. 14 – Schrána na hasicí přístroj	21
Obr. 15 – Schrána na nářadí	21
Obr. 16 – Zakládací klíny	21
Obr. 17 – Valníková nástavba	22
Obr. 18 – Sklápěčková nástavba	22
Obr. 19 – Skříňová nástavba návěsu	22
Obr. 20 – Návěsový nosič výměnných nástaveb	23
Obr. 21 – Plošinový návěs	23
Obr. 22 – Nástavba na svoz dřeva	23
Obr. 23 – Nástavba na převoz osobních automobilů	24
Obr. 24 – Umístění zábrany na tažném vozidle	26
Obr. 25 – Umístění zábrany na přívěsu	26
Obr. 26 – Umístění zábrany na návěsu	26
Obr. 27 – Umístění zábrany na vozidle – pohled zezadu	27
Obr. 28 – Řez podélným profilem, materiál – Al slitina	27
Obr. 29 – Stupně pevnosti oceli DOMEX	29
Obr. 30 – Tahové zatížení kompozitního materiálu	42

Obr. 31 – Tlakové zatížení kompozitního materiálu	42
Obr. 32 – Smykové zatížení kompozitního materiálu	42
Obr. 33 – Ohybové zatížení kompozitního materiálu.....	42
Obr. 34 – Sendvičová struktura s voštinovým jádrem.....	45
Obr. 35 – Místo působíště síly pro kontrolu průhybu konzoly v délkovém rozmezí 250mm od zadního konce zábrany	56
Obr. 36 – Místo působíště síly pro kontrolu průhybu ostatních míst konstrukce.....	56
Obr. 37 – Zatížení profil zkušební silou 1kN	57
Obr. 38 – Simulace připevnění konstrukce k svařenému držáku	57
Obr. 39 – Náhled na sestavu konzoly před spuštěním analýzy	58
Obr. 40 – Náhled na celou konstrukci před spuštěním analýzy	58
Obr. 41 – Posuvy jednotlivých částí konstrukce z materiálu DOCOL 800 DP.....	59
Obr. 42 – Průhyby konzoly z materiálu DOCOL 800 DP.....	59
Obr. 43 – Posuvy jednotlivých částí konstrukce z materiálu DOCOL ROLL 1000	60
Obr. 44 – Průhyb konzoly z materiálu DOCOL ROLL 1000	60
Obr. 45 – Typy profilů pro zábrany z hliníkových slitin.....	62
Obr. 46 – Posuvy jednotlivých částí zábrany z hliníkové slitiny	63
Obr. 47 – Průhyb konzoly z hliníkové slitiny.....	64
Obr. 48 – Způsob výroby kompozitních profilů pultruzí	66
Obr. 49 – Struktura materiálu vyrobeného pultruzní technologií.....	67
Obr. 50 – Součásti zábrany z hliníkových slitin.....	72

Seznam tabulek

Tab. 1 – Mechanické vlastnosti nelegovaných konstrukčních ocelí	13
Tab. 2 – Mechanické vlastnosti jemnozrnných konstrukčních ocelí.....	14
Tab. 3 – Mechanické vlastnosti vysokopevnostních jemnozrnných ocelí.....	15
Tab. 4 – Mechanické vlastnosti plechů k pálení a tváření za studena.....	16
Tab. 5 – Mechanické vlastnosti oťeruvzdorných a nárazuvzdorných ocelí.....	17
Tab. 6 – Chemické složení ocelí Domex 600, 650 a 700	30
Tab. 7 – Chemické složení oceli Domex 960	30
Tab. 8 – Chemické složení oceli Domex 1200.....	30
Tab. 9 – Mechanické vlastnosti ocelí Domex	30
Tab. 10 – Chemické složení ocelí Docol DP a DL.....	31
Tab. 11 – Mechanické vlastnosti ocelí Docol DP a DL	31
Tab. 12 – Chemické složení ocelí Docol M	32
Tab. 13 – Mechanické vlastnosti ocelí Docol M.....	32
Tab. 14 – Mechanické vlastnosti ocelí Docol ROLL	33
Tab. 15 – Mechanické vlastnosti materiálů Domex	34
Tab. 16 – Stavy pevnosti hliníkových slitin	39
Tab. 17 – Jednotlivé komponenty zábrany.....	48
Tab. 18 – Spojovací materiál v konstrukci zábrany	49
Tab. 19 – Vlastnosti původního materiálu a vysokopevnostních ocelí.....	51
Tab. 20 – Vybrané součásti pro náhradu za vysokopevnostní oceli.....	51
Tab. 21 – Přehled výsledků pro vysokopevnostní oceli	54
Tab. 22 – Přehled výsledků pro hliníkovou slitinu.....	62
Tab. 23 – Mechanické vlastnosti pultruzních profilů	67
Tab. 24 – Úspora hmotnosti při použití kompozitního materiálu.....	66
Tab. 25 – Cenová kalkulace součástí zábrany z původní běžné oceli.....	69
Tab. 26 – Cenová kalkulace součástí zábrany z oceli DOCOL 800 DP	69
Tab. 27 – Cenová kalkulace součástí zábrany z oceli DOCOL ROLL 1000	70
Tab. 28 – Finanční úspora při použití vysokopevnostních ocelí.....	70
Tab. 29 – Cenová kalkulace součástí zábrany z hliníkové slitiny.....	71
Tab. 30 – Úspory při použití hliníkové slitiny	71

Tab. 31 – Vyhodnocení úspor při použití konstrukce zábrany z hliníkových slitin firmy Trans-technik	73
Tab. 32 – Vyhodnocení úspor při výrobě podélných profilů z kompozitního materiálu	74
Tab. 33 – Shrnutí výsledků při použití vysokopevnostních ocelí.....	75
Tab. 34 – Shrnutí výsledků při použití hliníkové slitiny na původní konstrukci	75
Tab. 35 – Shrnutí výsledků při použití konstrukce fy.Trans-technik z hliníkové slitiny	75
Tab. 36 - Shrnutí výsledků při použití podélného profilu z kompozitního materiálu	75

Seznam grafů

Graf 1. Hustota běžných konstrukčních materiálů a kompozitů	43
Graf 2. Modul pružnosti běžných konstrukčních materiálů a kompozitů	43
Graf 3. Mez pevnosti běžných konstrukčních materiálů a kompozitů	44

Seznam příloh

Příloha 1. – Porovnání norem materiálů EN, ČSN, DIN

Příloha 2. – Předpis EHK 73, kapitola 7 – Technické požadavky na boční ochranná zařízení

Příloha 3. – Výkres součásti zábrany – Konzola (Držák)

Příloha 4. – Výkres součásti zábrany – Plech spojující podélné profily

Příloha 5. – Výkres součásti zábrany – Podélný profil

Příloha 6. – Výsledky analýzy konstrukce z vysokopevnostních ocelí – hodnoty napětí

Příloha 7. – Výsledky analýzy konstrukce z hliníkové slitiny – hodnoty napětí

Příloha 1 - Porovnání norem materiálů EN, ČSN, DIN [9]

Porovnání norem - EN / ČSN / DIN			
W. Nr.	EN	ČSN	DIN
1.0038	S235JRG2	11 375	RSt 37-2
1.0116	S235J2G3	11 378	St 37-3
1.0144	S275J2G3	11 448	St 44-3
1.0570	S355J2G3	11 523	St 52-3
1.0425	P265GH	11416	H II
1.0481	P295GH	11 478 /13 030	17Mn4
1.5415	16Mo3	15 020	15Mo3
1.7335	13CrMo4-5	15 121	13CrMo44
1.7380	10CrMo9-10	15 313	10CrMo9.10
1.7362	12 CrMo19.5	17 102	12CrMo19.5
1.0488	P275N/NH/ NL1 /NL2		StE/WStE/ TStE /EStE 285
1.0566	P355N/NH/ NL1 /NL2	11 503	StE/WStE/ TStE /EStE 355
1.8915	P460N/NH/ NL1 /NL2		StE/WStE/ TStE /EStE 460
1.8928	S690QL		StE 690
1.8983	S890QL		StE 890
1.8933	S960QL		StE 960
1.8942	S1100QL		StE 1100
1.0978	S355MC		QStE 380 TM
1.0980	S420MC		QStE 420 TM
1.8974	S700MC		QStE 690 TM
1.1141	2 C15	12 020	Ck 15
1.1191	2 C45	12 050	Ck 45
1.1221	2 C60	12 061	Ck 60
1.7131	16MnCr5	14 220	16MnCr5
1.7147	20MnCr5	14 221	20MnCr5
1.7218	25CrMo4	15 130	25CrMo4
1.7225	42CrMo4	15 142	42CrMo4
1.3401		17 618	X120 Mn 12
1.8704			XAR 300
1.8714 / 1.8714 / 1.8715			XAR, Durostat, Dillidur 400
1.8734 / - /1.8721			XAR, Durostat, Dillidur 500
			XAR 600
			XAR 400 W
1.4301	X 5 CrNi 18-10	17 240	X 5 CrNi 18 10
1.4541	X 6 CrNiTi 18-10	17 248	X 6 CrNiTi 18 10
1.4571	X 6 CrNiMoTi 17-12-2	17 348	X 6 CrNiMoTi 17 122
1.4404	X 2 CrNiMo 17-12-2	17 349	X 2 CrNiMo 17 122
1.4435	X 2 CrNiMo 18-14-3	17 350	X 2 CrNiMo 18 143
1.4828	X 15 CrNiSi 20-12	17 251	X 15 CrNiSi 20 12

Příloha 2 - Předpis EHK 73, kapitola 7

© Translation ÚVMV Praha

E/ECE/324-

E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.72

Předpis 73

Návěsy jsou ustaveny na podpěrách v podstatě ve vodorovné poloze.

7. TECHNICKÉ POŽADAVKY NA BOČNÍ OCHRANNÁ ZAŘÍZENÍ

- 7.1 Boční ochranná zařízení nesmí zvětšovat celkovou šířku vozidla a hlavní část jeho vnějšího povrchu nesmí ležet více než 120 mm směrem dovnitř od vnější plochy (největší šířky) vozidla. Jeho přední konec může být na některých vozidlech ohnut směrem dovnitř v souladu s odstavci 7.4.3 a 7.4.4. Jeho zadní konec nesmí v délce nejméně 250 mm ležet více než 30 mm směrem dovnitř od vnějšího obrysu zadních pneumatik (nepřihlížeje k deformaci pneumatik v blízkosti vozovky).
- 7.2 Vnější povrch zařízení musí být hladký a dle možnosti od předu až dozadu spojitý, přilehlé části mohou však být vzájemně přeplátovány, pokud vrchní hrana směřuje dozadu nebo dolů, nebo může být ponechána spára nepřesahující 25 mm - měřeno v podélném směru, pokud zadní díl nepřechází ven vzhledem k části přední, vypouklé hlavy šroubů nebo nýtů mohou vyčnívat nad povrch nejvýše 10 mm a jiné části mohou rovněž takto vyčnívat, pokud jsou hladké a podobně zaoblené, všechny vnější hrany a hroty musí být zaobleny poloměrem nejméně 2,5 mm.
- 7.3 Zařízení může sestávat ze spojitého plochého povrchu nebo z jednoho či více vodorovných vodicích profilů nebo z kombinace plochého povrchu a profilů, je-li použito profilů, nesmí být od sebe vzdáleny více než 300 mm a být méně než:
- 50 mm vysoké v případě vozidel N₂ a O₃;
 - 100 mm vysoké a v podstatě ploché v případě vozidel N₃ a O₄ ;
 - kombinace ploch a profilů musí vytvářet prakticky spojitě boční ochranné zařízení, podléhající nicméně ustanovením odstavce 7.2.
- 7.4 Přední hrana bočního ochranného zařízení musí být konstruována následujícím způsobem:
- 7.4.1 Její poloha musí být:
- 7.4.1.1 u automobilu: max.300 mm směrem dozadu od svislé roviny kolmé k podélné rovině vozidla a dotýkající se obvodu pneumatiky kola bezprostředně před ochranným zařízením;
- 7.4.1.2 u přívěsu: max.500 mm směrem dozadu od roviny definované v odstavci.7.4.1.1;
- 7.4.1.3 u návěsu: max. 250 mm směrem dozadu od příčné roviny souměrnosti opěrných noh, pokud je vozidlo opěrnými nohami vybaveno, avšak v žádném případě vzdálenost od přední hrany k příčné rovině procházející středem návěsného čepu v jeho krajní zadní poloze nesmí překročit 2,7 m.
- 7.4.2 Pokud je přední hrana v jinak otevřeném prostoru, musí být tvořena spojitým svislým členem v celém rozsahu výšky bočního ochranného zařízení;vnější a přední plochy tohoto členu musí mít šířky nejméně 50 mm, měřeno dozadu a ohyb 100 mm směrem dovnitř v případě vozidel N₂ a O₃ a nejméně 100 mm, měřeno dozadu a ohyb 100 mm směrem dovnitř v případě vozidle N₃ a O₄.
- 7.4.3 U automobilu, pokud rozměr 300 mm uvedený v odstavci 7.4.1.1. vyjde do prostoru kabiny, musí být ochranné zařízení konstruováno tak, aby spára mezi jeho přední hranou a panely kabiny nepřesahovala 100 mm a - je-li to nutné - musí být ohnuto pod úhlem nepřesahujícím 45°. V tomto případě se neuplatňují požadavky odstavce 7.4.2.
- 7.4.4 U automobilu, kde rozměr 300 mm dle odstavce 7.4.1.1 vyjde za kabinu a boční ochranné zařízení je protaženo dopředu až do vzdálenosti v rozmezí do 100 mm od

Příloha 2 - Předpis EHK 73, kapitola 7

© Translation ÚVMV Praha

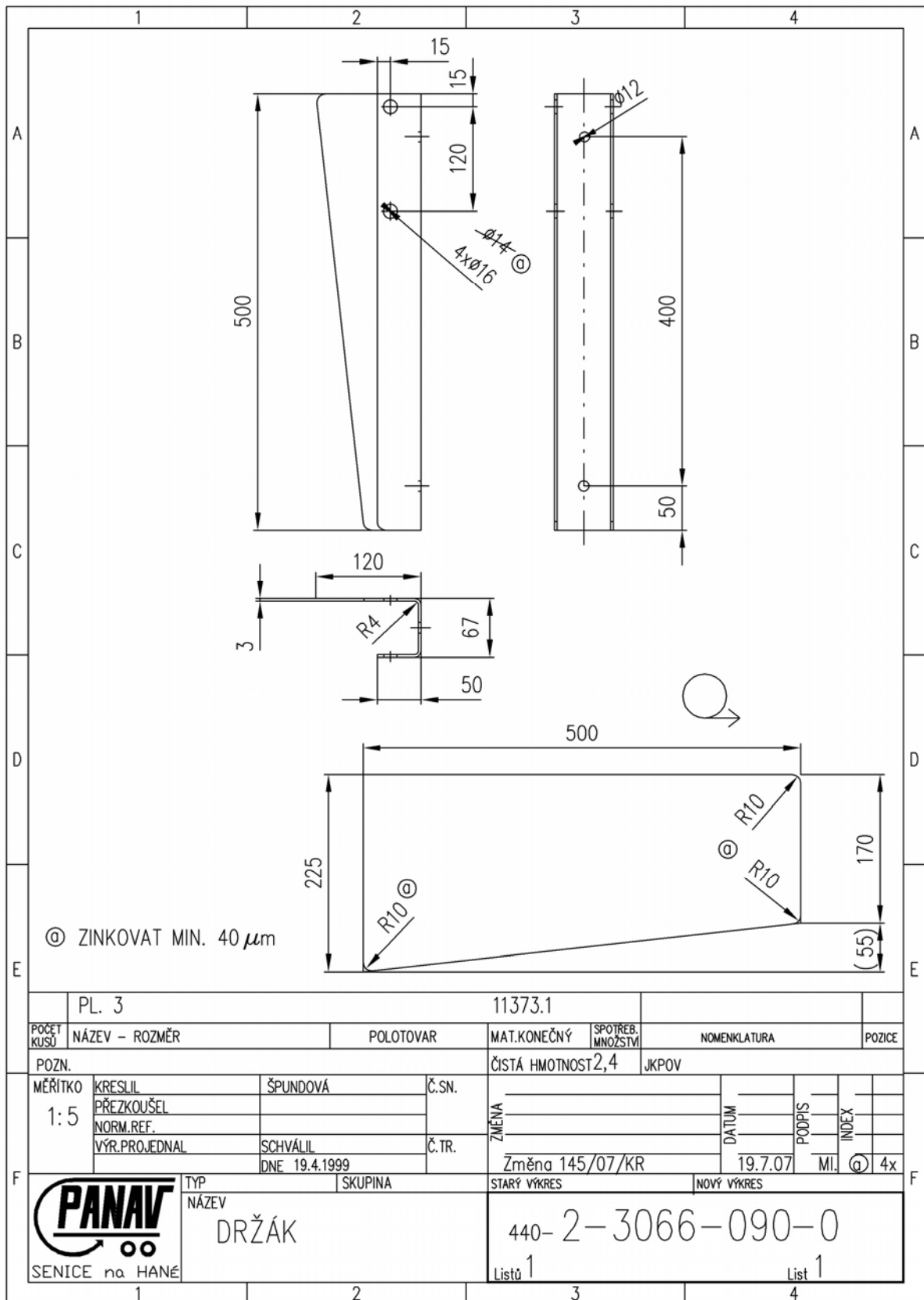
E/ECE/324-

E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.72

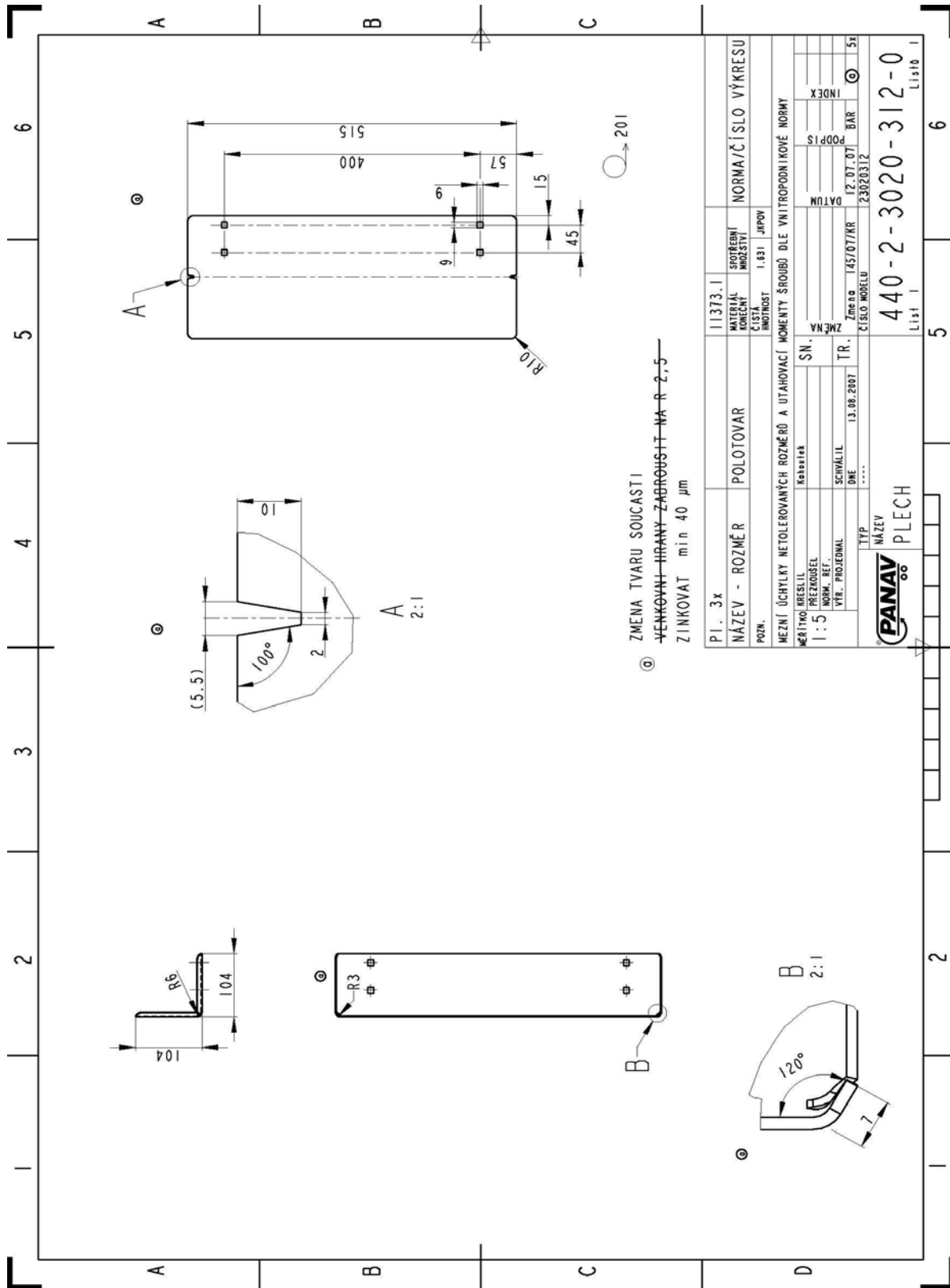
Předpis 73

- kabiny (kteroužto možnost Předpis výrobci nabízí), musí být splněny požadavky odstavce 7.4.3.
- 7.5 Zadní hrana bočního ochranného zařízení musí být vzdálena max. 300 mm směrem dopředu od svislé roviny, kolmé k podélné rovině vozidla a dotýkající se obvodu pneumatiky kola, které je bezprostředně za ochranným zařízením; spojený svislý člen na zadní hraně není vyžadován.
- 7.6 Dolní hrana bočního ochranného zařízení nesmí být v žádném místě výše než 550 mm nad vozovkou.
- 7.7 Horní hrana ochranného zařízení nesmí být více než 350 mm pod tou částí konstrukce vozidla, kterou protíná nebo které se dotýká svislá rovina, dotýkající se vnějšího povrchu pneumatik (nepřihlížeje k deformaci pneumatik v blízkosti vozovky), s výjimkou následujících případů:
- 7.7.1 Jestliže rovina dle odstavce 7.7 neprotíná konstrukci vozidla, pak horní hrana musí být na úrovni povrchu plošiny pro náklad nebo 950 mm nad vozovkou; směrodatná je menší z těchto výšek.
- 7.7.2 Jestliže rovina dle odstavce 7.7 protíná konstrukci vozidla ve výšce větší než 1,3 m nad vozovkou, pak horní hrana bočního ochranného zařízení musí být nejméně 950 mm nad vozovkou.
- 7.7.3 U vozidla speciálně navrženého a konstruovaného, jež není pouze upraveno, pro přepravu kontejneru nebo demontovatelné nástavby, horní hrana ochranného zařízení musí být určena dle odstavců 7.7.1 a 7.7.2, přičemž kontejner nebo nástavba jsou považovány za součást vozidla.
- 7.8 Boční ochranné zařízení musí být v podstatě tuhé, bezpečně přimontované (nesmí mít sklon k uvolňování v důsledku otřesů při normálním užívání vozidla) a - s výjimkou částí vyjmenovaných v odstavci 7.9 - musí být vyrobeno z kovu nebo jiného vhodného materiálu. Boční ochranné zařízení je považováno za vhodné, jestliže je způsobilé odolat vodorovné statické síle 1 kN, působící kolmo na kteroukoliv část jeho vnějšího povrchu, ve středu beranu, jehož čelní plocha je kruhová a rovinná o průměru 220 mm \pm 10 mm a jestliže průhyb ochranného zařízení při zatížení nepřesahuje:
- 30 mm v délkovém rozmezí 250 mm od zadního konce zařízení a
 - 150 mm v ostatních částech zařízení.
- Splnění těchto požadavků je možno ověřit výpočtem.
- 7.9 Součásti trvale připevněné k vozidlu, tj. zásobní kola, schránka baterií, vzduchojemy, palivové nádrže, světlo mety a schrány na nářadí mohou být začleněny do bočního ochranného zařízení, pokud splňují rozměrové požadavky tohoto Předpisu. Požadavky odstavce 7.2 jsou všeobecně uplatňovány v případě mezer mezi ochrannými zařízeními a trvale připevněnými součástmi.
- 7.10 Ochranného zařízení nemůže být použito pro připevnění brzdových, vzduchových nebo hydraulických trubek.

Příloha 3 – Výkres součásti zábrany - konzola

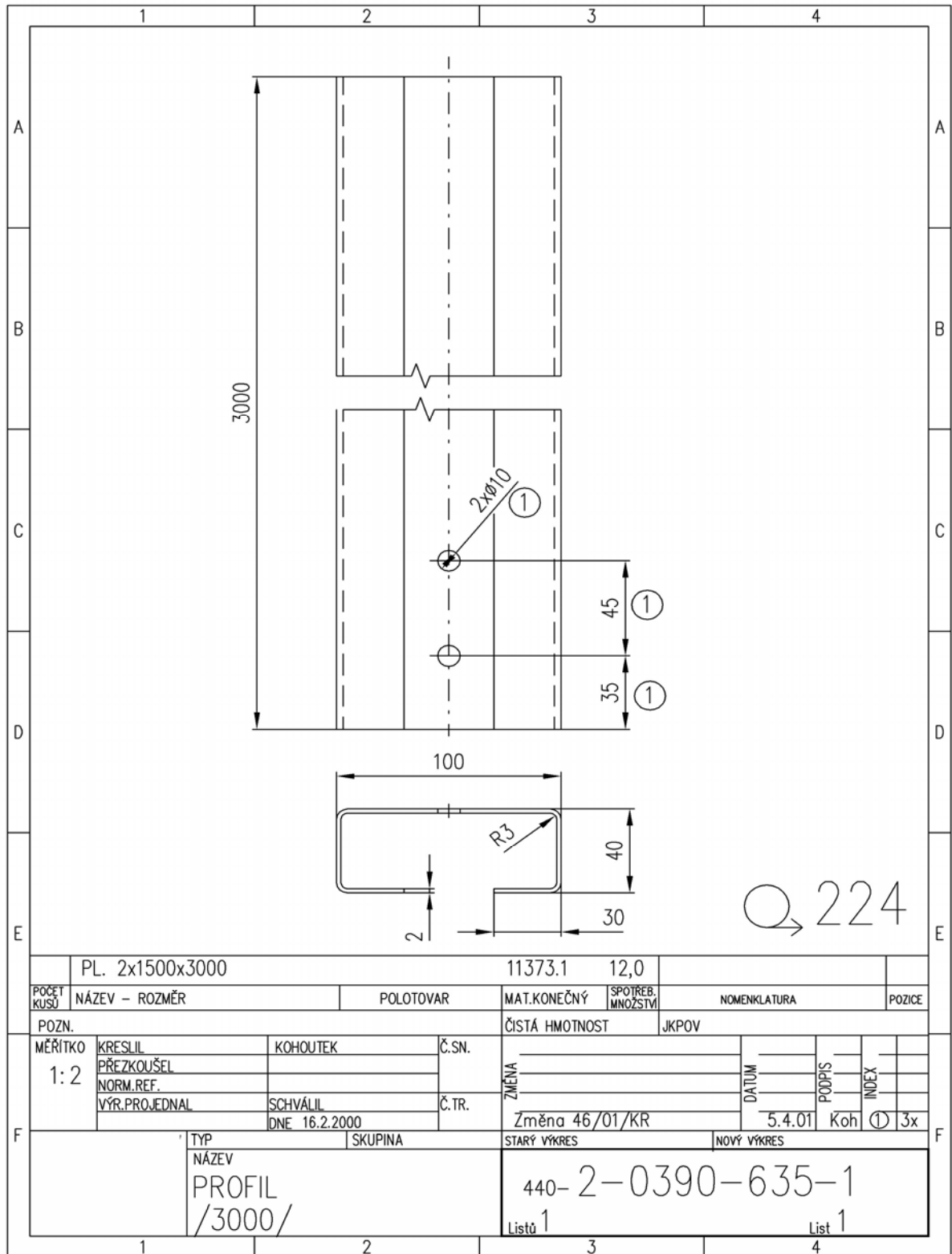


Příloha 4 – Výkres součásti zábrany – plech spojující podélné profily

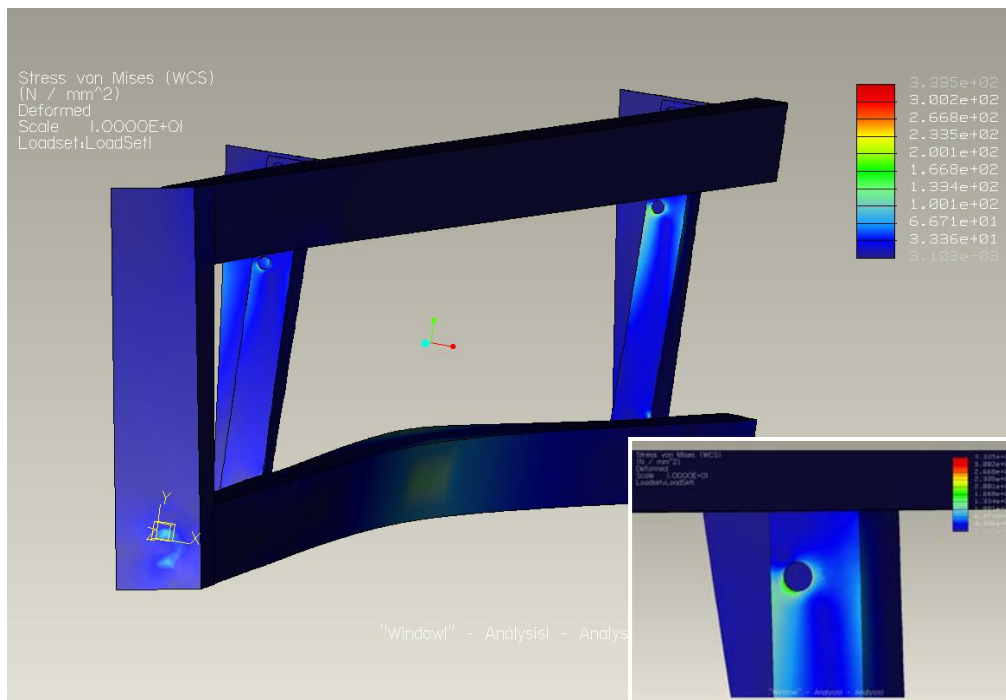


PI. 3x	111373.1	SPOTŘEBNÍ MĚŘIDLO	NORMA/ČÍSLO VÝKRESU
NÁZEV - ROZMĚR	POLOTOVAR	ČISTOTA	
POZN.		1.831	JMPOV
MEZÍ ÚCHYLKY NETOLEROVANÝCH ROZMĚRŮ A UTAHOVACÍ MOMENTY ŠROUBŮ DLE VNITROPNÍKOVÉ NORMY			
MĚŘITVO KRESLIL	Kobzariek	SN.	
PREZKOUSEL		DATUM	
MOM. REF.		POPSIS	
VR. PROJEDNAL	SCHVALIL	TR.	
DNE	13.08.2007	Zmena	12.07.07
TYP	BAR	5x
		ČÍSLO MODELU	23020312
		440-2-3020-312-0 List 1	

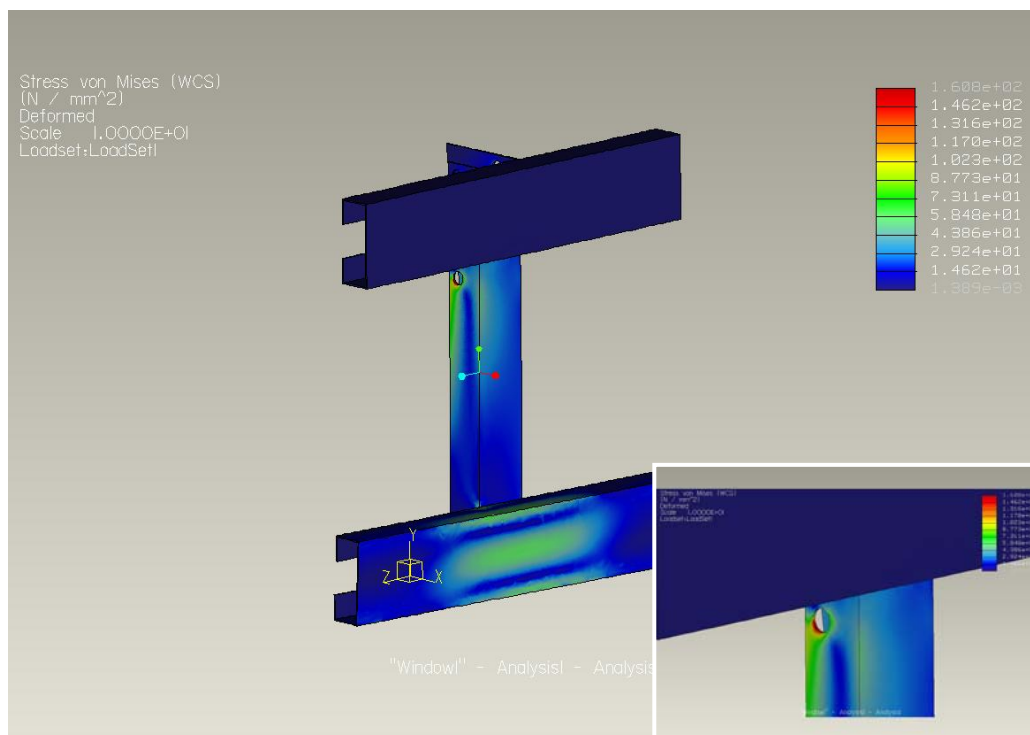
Příloha 5 – Výkres součásti zábrany – podélný profil



Příloha 6 – Výsledky analýzy konstrukce z vysokopevnostních ocelí – hodnoty napětí

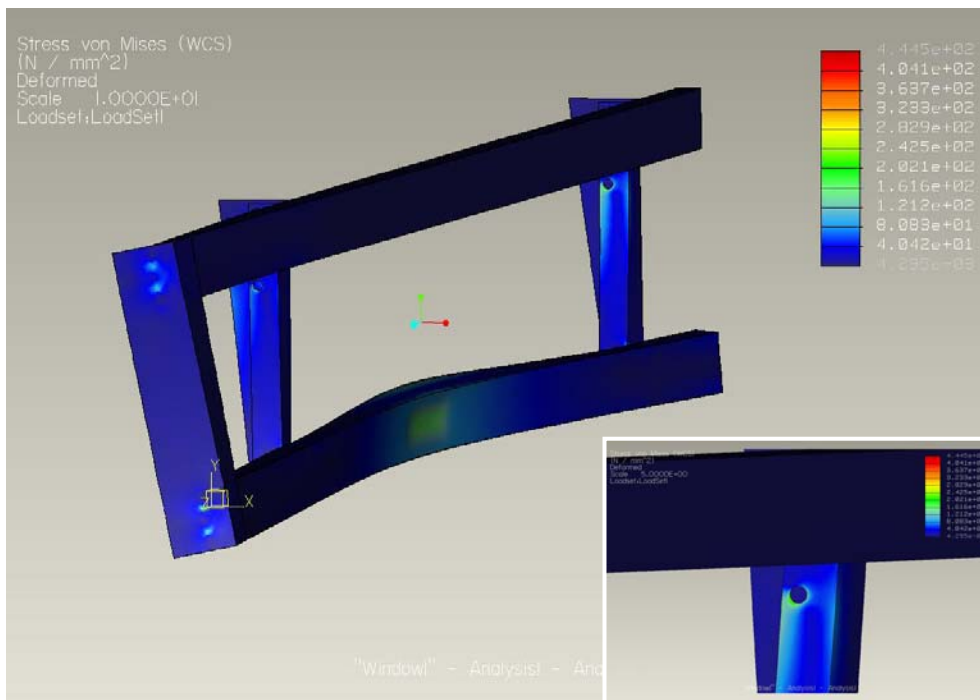


Celá konstrukce – materiál DOCOL 800 DP (maximum 333,5 MPa)

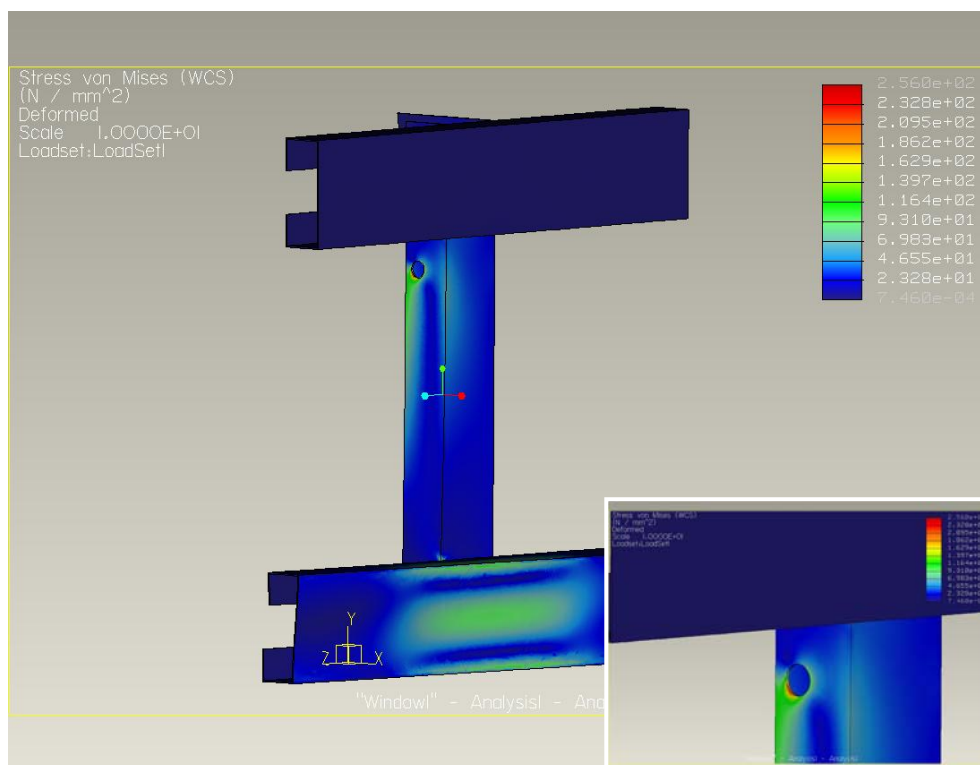


Konzola – materiál DOCOL 800 DP (maximum 160,8 MPa)

Příloha 6 – Výsledky analýzy konstrukce z vysokopevnostních ocelí – hodnoty napětí

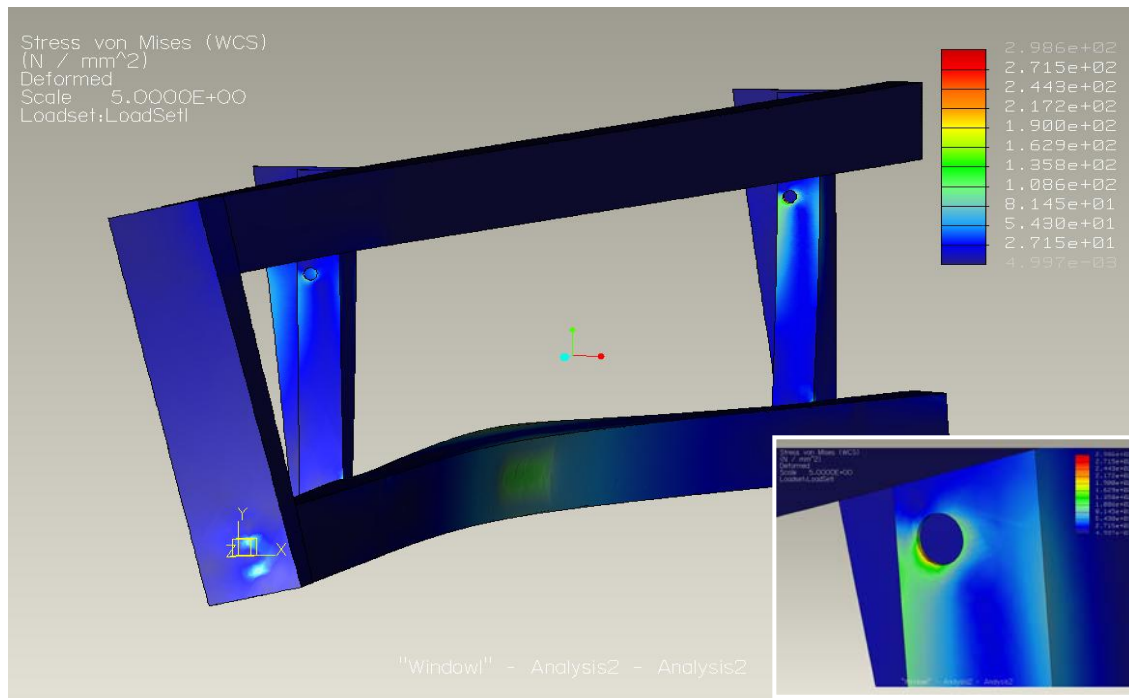


Celá konstrukce – materiál DOCOL ROLL 1000 (maximum 444,5 MPa)

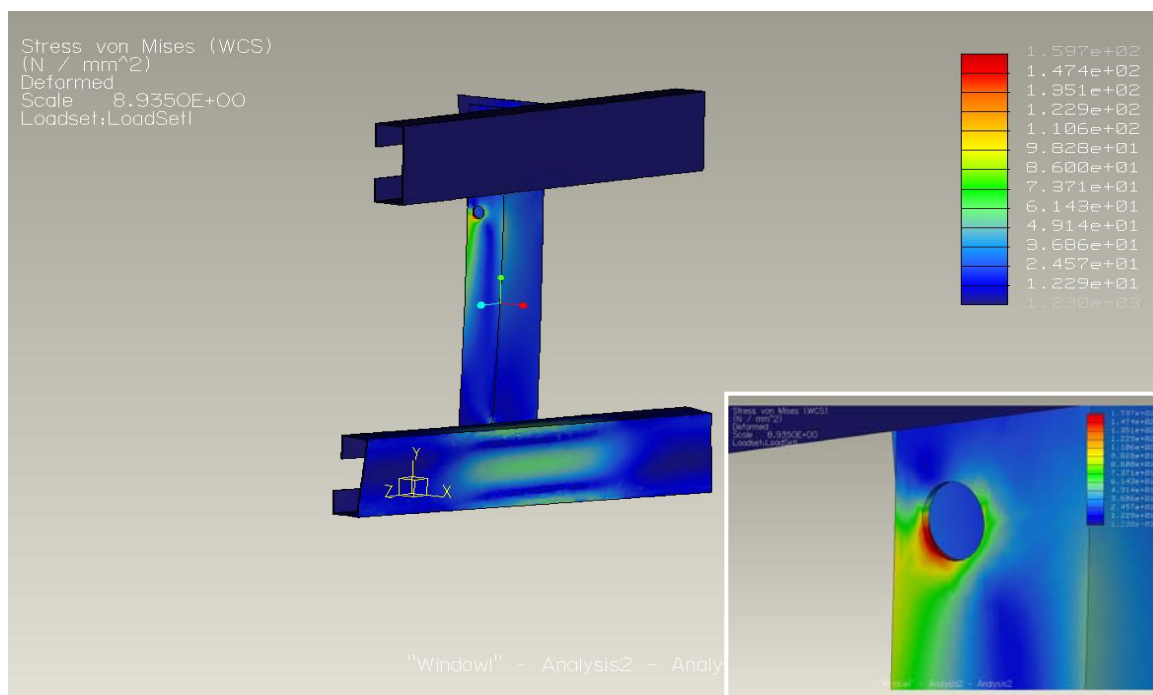


Konzola – materiál DOCOL ROLL 1000 (maximum 256,0 MPa)

Příloha 7 – Výsledky analýzy konstrukce z hliníkové slitiny – hodnoty napětí



Celá konstrukce – hliníková slitina (maximum 298,6 MPa)



Konzola – hliníková slitina (maximum 159,7 MPa)