

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

Vliv stupně balistické ochrany automobilového skla na optické vlastnosti

Bc. Tomáš Netík

**Diplomová práce
2008**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

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

Název tématu: **Vliv stupně balistické ochrany skla na optické vlastnosti automobilových skel**

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

1. Úvod
2. Specifikace požadavků na balistickou ochranu
3. Technologie výroby balistických skel
4. Klasifikace zkušebních podmínek skel
5. Vlivy balistické ochrany a použitých materiálů na optické vlastnosti skel
6. Vyhodnocení a závěrečné shrnutí

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

ČERNÝ, Josef. Skla silničních vozidel. Praha : NADATUR, 1995. 44 s.

FANDERLÍK, Ivan. Optické vlastnosti skel. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979. 252 s.

BUCHAR, Jaroslav, VOLDŘICH, Josef. Terminální balistika. Praha : Academia, 2003. 340 s. ISBN 80-200-1222-2.

Vedoucí diplomové práce:

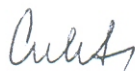
Ing. Pavla Šourková
SVOS, Přelouč

Datum zadání diplomové práce:

18. února 2008

Termín odevzdání diplomové práce:

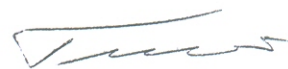
26. května 2008



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

SOUHRN

Cílem práce je shrnutí požadavků na automobilová skla. Zpřehlednění technologie výroby čelních automobilových skel. Dále se zaměřuji na podmínky pro zkoušení fyzikálních vlastností automobilových skel bez a s balistickou ochranou. Stěžejní část práce se zabývá posouzením vlivu balistické ochrany čelního skla na optické vlastnosti. V poslední části práce se jsou výsledky měření a závěr.

KLÍČOVÁ SLOVA

balistika; čelní vrstvená skla; technologie výroby; optické vlastnosti

TITLE

Influence of grade ballistic security automobile glass onto optical features

ABSTRACT

The tendency of my dissertation thesis is summarize requirements on automobile glasses. Give precision to technology of production wind – screen. Further, I cover with conditions for testing physical features of automobile glass with ballistic security. The principal part of dissertation is about assessment of influence ballistic security wind – screen on optical features. In the last part are results of measure and conclusion.

KEYWORDS

ballistics; laminated wind – screen; technology of production; optical features

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA BALISTICKOU OCHRANU	2
2.1 KLASIFIKACE ÚROVNÍ ODOLNOSTI PROTI PRŮSTŘELU	5
2.2 ZKUŠEBNÍ PODMÍNKY DLE EN 1063 [2]	6
2.2.1 Provedení zkoušky	6
2.3 HODNOCENÍ BALISTICKÉ ODOLNOSTI DLE MIL-STD-376D [5]	8
2.3.1 Zkušební podmínky	8
2.4 OBJEKTY BALISTICKÉ OCHRANY:	9
2.4.2 Zasklení karoserie automobilu	10
2.4.3 Neprůstřelná – vrstvená skla	10
3. TECHNOLOGIE VÝROBY A ZAŘÍZENÍ	15
3.1 Skladování	15
3.2 Řezání	15
3.3 Úprava hran broušením a leštěním, vrtání	16
3.4 Ohýbání skel	17
3.5 Mytí plochých a ohýbaných skel	18
3.6 Skládání vrstvených skel v čisté místnosti	19
3.7 LISOVÁNÍ SKEL – HORKOVZDUŠNÝ AUTOKLÁV	20
3.7.1 Technologie lisování	20
3.8 KONTROLA KVALITY, PŘÍPRAVA SKEL NA EXPEDICI	20
4 PŘEDPISY A NORMY PRO BEZPEČNOSTNÍ VRSTVENÁ SKLA	21
4.1 PLÁN VÝVOJE GLOBÁLNÍHO TECHNICKÉHO PŘEDPISU (GTR) PRO BEZPEČNOSTNÍ ZASKLÍVACÍ MATERIÁLY DO MOTOROVÝCH VOZIDEL [9]	22
4.1.2 Účel předpisu	22
4.1.3 Popis navrženého předpisu	22
4.1.4 Současný stav	22
4.1.5 Technické zhodnocení	23
4.1.6 Optické vlastnosti	24
4.1.7 Rozsah platnosti	25
4.1.8 Srovnání mezi Předpisem EHK č.43, japonskými bezpečnostními předpisy pro silniční vozidla a USA předpisem FMVSS 205	25
4.2 ČELNÍ SKLO	27
4.2.1 Definice	27
4.2.2 ZORNÉ POLE VÝHLEDU	27
4.2.3 Plochy výhledu	27
4.2.4 Postup stanovení ploch výhledu na čelních sklech kategorie M1 ve vztahu k V – bodům	28
4.2.5 Plochy výhledu	28
5 ZKOUŠKY OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ	30
5.1 ZKOUŠKA PROPUSTNOSTI SVĚTLA [8]	30
5.2 ZKOUŠKA OPTICKÉHO ZKRESLENÍ [8]	31
5.3 ZKOUŠKA ODDĚLOVÁNÍ SEKUNDÁRNÍHO OBRAZU	34
5.4 ZKOUŠKA ROZLIŠOVÁNÍ BAREV	35
6 VÝSLEDKY ZKOUŠEK	36
6.1 OPTICKÉ ZKRESLENÍ	36
6.1.2 Příprava testu	36
6.1.1 Příprava testu	36
6.1.2 Výsledky zkoušky	36
6.1.3 Možnost skrytí optického zkreslení na okrajích výrobcem	37
6.2 OPTICKÁ PROPUSTNOST	37
6.2.1 Příprava testu	37
6.2.2 Výsledky zkoušky	38
7 ZÁVĚR	40

PŘÍLOHA Č. 1	42
TOYOTA LC 100	42
<i>Technické údaje:</i>	42
<i>Toyota LC 100 po úpravách firmou SVOS</i>	43
PŘÍLOHA Č. 2	45
PŘÍLOHA Č. 3	47
PŘÍLOHA Č. 4	51
<i>Vzorky čelních skel bez PC</i>	51
<i>Vzorky čelních skel bez PC</i>	55
SEZNAM OBRÁZKŮ	59
SEZNAM TABULEK	60
SEZNAM POŽITÝCH SYMBOLŮ	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, slečně Ing. Pavle Šourkové a panu Ivanovi Huspekovi za jejich odbornou pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Také touto cestou děkuji firmě Svos s.r.o a zejména generálnímu řediteli této firmy Ing. Jaroslavu Černému, bez jehož pomoci by tato práce nemohla vzniknout.

1. Úvod

V současné době dochází k nárůstu zájmu o balistickou ochranu osobních automobilů proti účinkům různých projektilů, důležitá je minimalizace účinku střely a jejího chování za touto překážkou.

Pancéřovaná auta jsou v současnosti vzhledem k neustálému vývoji nových materiálů a technologií čím dál bezpečnější, ale tato zvýšená bezpečnost má i své negativní stránky. Kromě vyšších nákladů na výrobu a pořízení materiálové základny to znamená, že se významně mění dynamika i fyzikální vlastnosti vozidla. Pokud jde o karosérii, ta už kvůli vlastní kompaktnosti a stabilitě (a ne už kvůli útočníkům) musí být na některých místech pomocí svarů zesílena.

S rostoucím požadavkem na bezpečnost posádky v pancéřovaných automobilech rostou i požadavky na zasklení. Trendy designu přinesly zvýšení celkové zasklené plochy v automobilech, které vyžadují stále víc a více různorodých tvarů přispívajících k požadavku vyššího stupně zasklení. Dále vzrostla poptávka po specialitách, kterými jsou:

- ochrana proti UV záření pomocí regulačních folií;
- schopnost odmrazování a odmlžování (vyhřívání skel);
- vrstvená boční skla pro zabezpečení, bezpečnost a tlumení hluku;
- integrovaná čidla deště pro automatickou aktivaci stěračů;
- vodu odpuzující vrstvy na skle či polycarbonátu pro zlepšení viditelnosti.

Odpovědnost za vzhled a sestavení modulů zasklení výrobců zasklívacích systémů pro automobily se stále zvyšuje. Pokud se mají zvýšit i bezpečnostní parametry a zachovat tak komfort skla jsou nároky na výrobu a výrobce několikanásobně vyšší. Požadavky na čelní skla a skla předních dveří jsou dána předpisy EHK, těmto předpisům se podřizují i skla s balistickou ochranou. Posouzení stupně balistické ochrany v závislosti na optických vlastnostech automobilových balisticky odolných (vrstvených) skel je stěžejní cíl mé diplomové práce.

2. Specifikace požadavků na balistickou ochranu

Balistika [1]

Balistika je věda zabývající se pohybem a účinkem projektilů. Vlivem technického pokroku vznikla speciální odvětví:

- *balistika vnitřní* - studuje dynamické a chemické jevy probíhající při výstřelu uvnitř hlavně,
- *balistika přechodová* - popisuje děje probíhající před ústím hlavně ovlivněné vytékajícími prachovými plyny,
- *balistika vnější* - zabývá se letem střely ve vzduchu nebo vzduchoprázdnu,
- *balistika terminální* - zkoumá děje při pohybu střely v prostředí, do kterého přestoupila ze vzduchu.

Balistická ochrana

Ochrana objektu, lidského těla či zvířete před účinky projektilu.

Základní pojmy termální balistiky[1]

Základní pojmy geometrie rázu a kriteria účinku projektilu

Při hodnocení interakce projektilu s terčí je třeba vymezit některé základní pojmy. Projektily mohou dopadat na překážky terče různou rychlostí v . Tyto rychlosti leží v intervalu od jednotek metrů za sekundu až po desítky kilometrů za sekundu. Na základě dosavadního vymezení rozeznáváme následující případy:

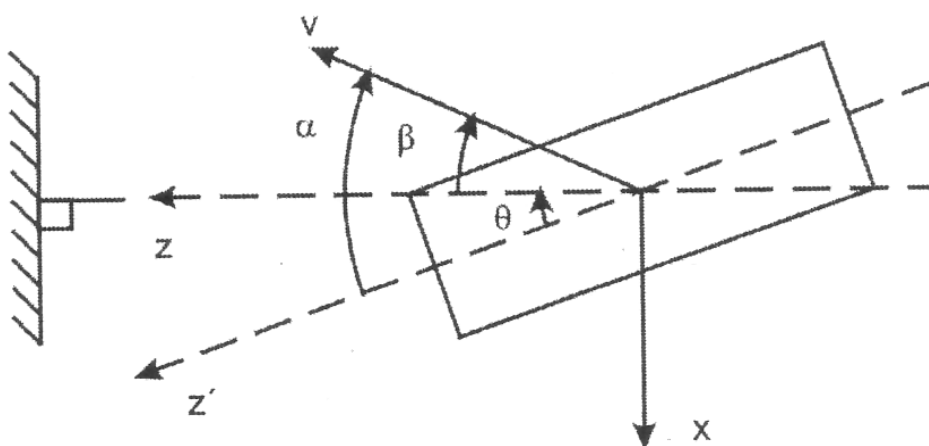
- *nízké dopadové rychlosti* kdy $v < 500$ m/s,
- *běžné dopadové rychlosti* kdy $500 < v < 1500$ m/s,
- *vysoké dopadové rychlosti* kdy $1500 < v < 3000$ m/s,
- *extrémně vysoké dopadové rychlosti* kdy $v > 3000$ m/s.

Uvedené rozdělení je přibližné. Dopadové rychlosti jsou charakteristické zejména pro ocelové terče a projektily z oceli a slitin wolframu resp. jiných těžkých kovů např. ochuzeného uranu apod.

Další rozdělení je přijímané v případě terčů. Uvážíme – li, že většina projektilů má válcovou symetrii, kdy můžeme definovat např. max. průměr projektilu D a jeho délku L , pak pro rovinné terče o tloušťce H je přijímáno následující rozdělení:

- *tenké terče*, kdy $H/D < 1$,
- *středně silné terče*, kdy $1 < H/D < 10$,
- *polonekonečné terče*, kdy $H/D > 10$.

Při sledování interakce projektilu s překážkou je jedním z rozhodujících faktorů i vzájemná poloha projektilu a terče. Pokud má projektil válcovou symetrii, pak můžeme tuto polohu znázornit způsobem uvedeným na *obrázku 1*.



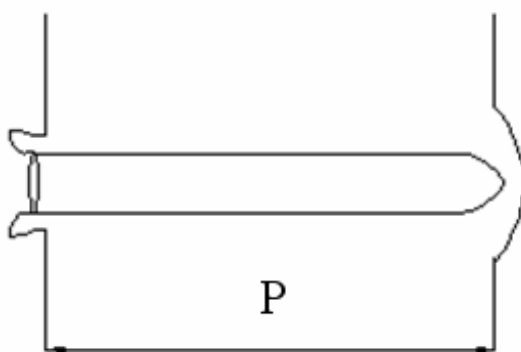
Obr. 1 Schéma základních úhlů popisujících geometrii interakce projektilu s rovinným terčem.

Pomocí obr. 1 můžeme definovat následující pojmy:

- Normální dopad projektilu, kdy je vektor rychlosti projektilu totožný s tečnou trajektorie projektilu (u osově souměrných projektilů s osou symetrie projektilu).
- Šikmý dopad projektilu, který dělíme na šikmý dopad bez a s vybočením. Pro nulové vybočení pak platí $\theta = |\beta|$.

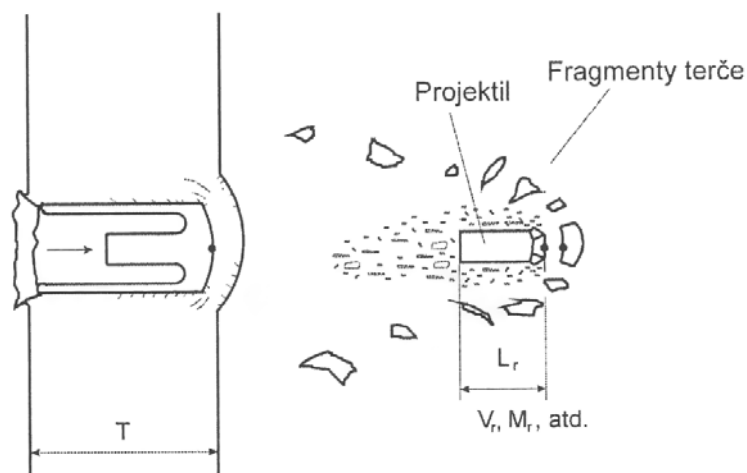
Při střetu projektilu s terčem, pak v první řadě rozlišujeme dva případy:

1. Projektil zůstane uvnitř terče (obr. 2). Pro tento případ používáme pojem penetrace a zavádíme hloubku penetrace.
 - Penetrace – průnik projektilu do terče
 - Hloubka penetrace – hloubka průniku projektilu do terče



Obr. 2 Schéma stanovení penetrace při kolmém dopadu projektilu.

2. Projektil prochází terčem. V tomto případě mluvíme o průrazu, resp. o perforaci. Průběh perforace je pro kolmý dopad znázorněn na obr. 3. Předpokládáme osově symetrický projektil o délce L_0 , který dopadá rychlostí V_0 na rovinný terč o tloušťce T_t . Při pohybu projektilu v terči dochází k erozi projektilu, kdy erodované částice se pohybují tam i zpět. Současně dochází k vyboulení tylní strany terče.



Obr. 3 Schéma perforace rovinného terče při kolmém dopadu projektilu L_r , označuje délku projektilu po perforaci terče a M_r jeho hmotnost.

Z uvedeného stručného popisu je zřejmé, že účinek projektilu je v podstatě dvojího druhu. Jednak vlastní průraz terče a jednak vznik úlomků, které samy o sobě mohou být zdrojem nebezpečí např. pro posádku pancéřované techniky.

Obecně interakce projektilu s terčem dělíme na lokální a celkové, kdy dochází např. k deformaci celého terče. Uvážíme – li základní typy materiálu jako tvárný a křehký, pak hlavní typy interakcí projektilu a terče jsou:

...radiální lom, protlačení průniku, tvárný průnik, fragmentace, rozevření...

Je pochopitelné, že při hodnocení účinku projektilu je třeba zavést vhodný kvantitativní údaj. Tímto údajem je tzv. balistická mez, označovaná jako V_{lim} . Jde o takovou hodnotu dopadové rychlosti, při které ještě nedojde k proražení terče, pro rychlost větší již k proražení dojde. Stanovení této veličiny je s ohledem na rozptyl vlastností, jak terče, tak projektilu, spolu s nemožností matematické reprodukce dopadové rychlosti prakticky nemožné, a proto se používá jiných postupů.

2.1 Klasifikace úrovní odolnosti proti průstřelu

Úrovně odolnosti proti průstřelu jsou definovány podle evropských EN 1063 (Tab. 1) [2], amerických N.I.J. 0108.01 [10], UL. std. 752 [10], německých DIN 52290 [10], britských BS 5051 [x] – 1988 a vojenských předpisů STANAG 4569 (Tab. 2) [10].

stupeň odolnosti	BR1	stupeň odolnosti	BR2
zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5	zkušební vzdálenost [m]	5 ± 0,5
počet střel	3	počet střel	3
vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10	vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10
typ zbraně	puška	typ zbraně	pistole aut.
ráže	0,22 LR	ráže	9mm luger
typ střely	L/RN	typ střely	FJ/RN/SC
hmotnost [g]	2,6 ± 0,1	hmotnost [g]	8,0 ± 0,1
rychlost [m/s]	360 ± 10	rychlost [m/s]	400 ± 10
energie střely [J]	117	energie střely [J]	640
stupeň odolnosti	BR3	stupeň odolnosti	BR4
zkušební vzdálenost [m]	5 ± 0,5	zkušební vzdálenost [m]	5 ± 0,5
počet střel	3	počet střel	3
vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10	vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10
typ zbraně	revolver	typ zbraně	revolver
ráže	0,357 magnum	ráže	0,44 Rem; magnum
typ střely	FJ/CB/SC	typ střely	FJ/FN/SC
hmotnost [g]	10,2 ± 0,1	hmotnost [g]	15,6 ± 0,1
rychlost [m/s]	430 ± 10	rychlost [m/s]	440 ± 10
energie střely [J]	943	energie střely [J]	1960
stupeň odolnosti	BR5	stupeň odolnosti	BR6
zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5	zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5
počet střel	3	počet střel	3
vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10	vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10
typ zbraně	puška	typ zbraně	puška
ráže	5,56x45**	ráže	7,62x51
typ střely	FJ/PB/SCP1	typ střely	FJ/PB/SC
hmotnost [g]	4,0 ± 0,1	hmotnost [g]	9,5 ± 0,1
rychlost [m/s]	950 ± 10	rychlost [m/s]	830 ± 10
energie střely [J]	3270	energie střely [J]	1693
stupeň odolnosti	BR7	L – olovo FJ – celoplášťová střela HC1 – tvrdé ocelové jádro RN – ogival SCP – měkké jádro (olovo) a ocelový penetrátor CB – kuželová střela FN – plochá přední část PB – špičatá střela SC – měkké jádro (olovo)	
zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5		
počet střel	3		
vzdálenost zásahů [mm]	120 ± 10		
typ zbraně	puška		
ráže	7,62x51**		
typ střely	FJ/PB/HC1		
hmotnost [g]	9,8 ± 0,1		
rychlost [m/s]	820 ± 10		
energie střely [J]	3295		

* délka vrtání 178 mm ± 10mm ** délka vrtání 254 mm ± 10mm

Tab. 1 Klasifikace úrovní odolnosti proti průstřelu dle normy EN 1063[2].

Level	typ zbraně	ráže; střela	Artillery Threat (FSP 20mm) fragment-simulating projectile
I	puška	7.62x51 NATO Ball (Ball M80) zkušební vzdálenost: 30m rychlost střely: 833 m/s úhel: azimut 360° ; elevace 0-30° 5.56 x 45 NATO SS109 & M193 zkušební vzdálenost: 30m rychlost střely: (SS109) 900 m/s -(M193) 937 m/s úhel: azimut 360° ; elevace 0-30°	20mm FSP rychlost střely: 520 m/s tolerance $\pm$ 20 m/s úhel: azimut 0-360° ; elevace 0-18° simulovaný rozsah 120m
II	puška	7.62 x 39 API BZ zkušební vzdálenost: 30m rychlost střely: 695 m/s úhel: azimut 360° ; elevace 0-30°	20mm FSP rychlost střely: 630 m/s tolerance $\pm$ 20 m/s úhel: azimut 0-360° ; elevace 0-22° simulovaný rozsah 120m
III	odstřelovací puška	7.62 x 51 AP (WC core) 7.62 x 54R B32 API (Dragunov) zkušební vzdálenost: 30m rychlost střely: 7.62 x 51 AP 930 m/s rychlost střely: 7.62 x 54R B32 API 854 m/s úhel: azimut 360° ; elevace 0-30°	20mm FSP rychlost střely: 770 m/s tolerance $\pm$ 20 m/s úhel: azimut 0-360° ; elevace 0-30° simulovaný rozsah 90m
III+	střední automatická zbraň	12.7 x 99 M2 AP zkušební vzdálenost: 30m rychlost střely: 930 m/s	
IV	těžká automatická zbraň	14.5x114AP / B32 zkušební vzdálenost: 200m rychlost střely: 911 m/s úhel: azimut 360° ; elevace 0°	20mm FSP rychlost střely: 960 m/s tolerance $\pm$ 20 m/s úhel: azimut 0-360° ; elevace 0-90° simulovaný rozsah 25m
V	automatický kanón	25mm APDS-TM-791 or TLB 073 zkušební vzdálenost: 500m rychlost střely: 1258 m/s úhel: azimut $\pm$ 30° v obou směrech ; elevace 0°	20mm FSP rychlost střely: 960 m/s tolerance $\pm$ 20 m/s úhel: azimut 0-360° ; elevace 0-90° simulovaný rozsah 10m

Tab. 2 Klasifikace úrovně odolnosti proti průstřelu dle STANAG 4569 [10].

2.2 Zkušební podmínky dle EN 1063 [2]

Požadavky na zkušební vzorky:

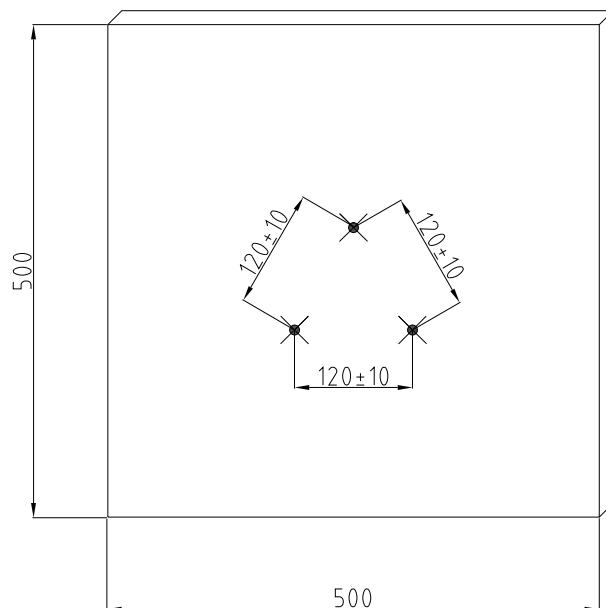
- materiál zkušebních kusů musí odpovídat specifikacím výrobce,
- velikost zkušebních kusů musí být 500 ± 5 mm x 500 ± 5 mm,
- vzorek podrobený typovému zkoušení musí být z 3 zkušebních kusů pro každou třídu, pro kterou je požadována zkouška.

2.2.1 Provedení zkoušky

Dle předpisu EN 1063 (Tab. 1) je zvolena zbraň a střelivo odpovídající úrovni odolnosti proti střelám, pro kterou má být výrobek zkoušen.

Jednotlivé zkušební vzorky jsou upevněny do rámu v předepsané vzdálenosti od ústí hlavně dle přesně definovaných parametrů (Tab. 1 - zkušební vzdálenost), kdy teplota laboratoře či experimentální místnosti musí být $(18 \pm 5^\circ\text{C})$.

Na střed každého zkušebního kusu je narysován rovnostranný trojúhelník. Délka strany tohoto trojúhelníku je rovna vzdálenosti zásahů – 120 ± 10 mm, kdy vrcholy jsou označeny tak, aby byly pro střelce zřetelně viditelné obr. 4.



Obr. 4 Náskres zkušebního vzorku pro balistickou zkoušku dle EN 1063.

Zkušební kus se podrobí jednomu nebo třem nástřelům dle zkušebních podmínek, za současného zaznamenávání rychlosti jednotlivých nástřelů. Po každém nástřelu je určeno, zda došlo k průstřelu zkušebního vzorku či nikoliv. Mohou nastat tyto dvě varianty:

1. Zkušební vzorek je prostřelen:
 - další testování je zastaveno,
 - zkušební vzorek je nevyhovující, pro testovaný stupeň balistické odolnosti.
2. Střela neprošla zkušebním vzorkem:
 - v testování je pokračováno nadále dle předpisu.

Vyhodnocení testu je provedeno podle požadavků na chování zkušebního vzorku. Aby byly vzorky klasifikovány jako vyhovující pro daný stupeň bal. odolnosti, musí splnit nejméně jeden z následujících požadavků:

- materiálem neprošla střela ani její část a svědečnou folii neprošly úlomky ze zadní strany,
- materiálem neprošla střela ani její část, ale svědečnou folii prošly úlomky z chráněné strany (obr. 5).



Obr. 5 Zkouška balistické odolnosti vůči průstřelu dle EN 1063 pro vzorek s balistickou odolností BR4.

2.3 Hodnocení balistické odolnosti dle MIL-STD-376D [5]

MIL-STD-376D je modifikace americké normy, která byla vypracována na specializovaných pracovištích VTÚO Brno. Tato metoda slouží k testování balistické odolnosti zejména nových generací transparentních pancířů. Tato metoda je používána zejména pro podkaliberní kinetické projektily o hmotnosti $65 \pm 0,25$ g s poměrem délka/průměr 10:1 a s nominální testovací rychlostí $1\,500\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2.3.1 Zkušební podmínky

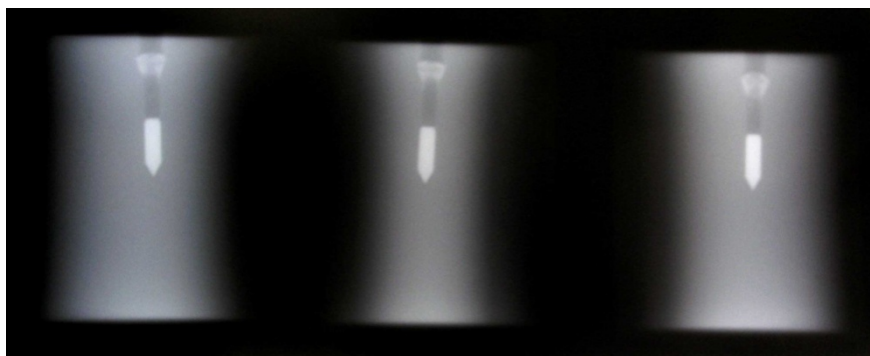
Důležitou částí této zkoušky je příprava zkušebních vzorků (terčů) a jejich upevnění do stojanu, kdy tyto terče mají předepsané tvary i velikosti (čtvercový tvar 150×150 mm, kruhový tvar o $\varnothing 50$ mm – obr. 6).



Obr. 6 Uložení terče do stojanu při střeleckých zkouškách

Vzdálenost střelecké hlavně od vzorku je 10 m. Při každém výstřelu je během letu střely měřena její rychlost. Rychlost je měřena opticky na měřicí délce 1 m, střední vzdálenost měřiče rychlosti od ústí hlavně je 7 m. Ke zkouškám je použita speciální balistická rozptyloměrná hlaveň upnutá do střelecké stoličky. Zaměřování je prováděno ústřevým dalekohledem tak, aby se zajistil dopad střely do středu destičky menší než je dvojnásobek velikosti průměru projektilu.

Průnik střely do válcového bloku je vyhodnocován metodou nedestruktivní defektoskopie, tj. rentgenovým prozářením válcového bloku. Ze zhotoveného radiogramu (obr. 7), tj. rentgenového defektoskopického filmu, se odečítá hodnota vzdálenosti špičky projektilu od čelní (dopadové) strany bloku.



Obr. 7: Radiogram zkoušek defektoskopie válcového bloku.

Aby získané výsledky mohly být srovnávány, jednotlivé naměřené hodnoty DOP je třeba korigovat na nominální rychlost 930 m.s⁻¹ podle rovnice:

$$DOP_{KOR} = DOP_{NAMĚŘ} + [0,0863192 \cdot (930 - VDOP)] \quad [\text{mm; m.s}^{-1}]$$

, kde V_{DOP} je rychlost dopadu střely v m.s⁻¹, $DOP_{NAMĚŘ}$ je skutečně naměřená rychlost střely v m.s⁻¹.

2.4 Objekty balistické ochrany:

Cíl výzkumu v oblasti materiálového a technologického zabezpečení balistické ochrany a maskování vojenské techniky a živé síly:

zpracovat koncepci balistické ochrany a maskovací techniky vycházející z aktuálních poznatků o prostředcích napadení a průzkumu a na podkladě získaných závěrů upřesňovat požadavky na balistickou ochranu a maskovací charakteristiky s cílem:

- nalézt a ověřit nové aktivní ochranné prvky zvyšující schopnost přežití obrněné techniky na bojišti s využitím poznatků a požadavků vlastních a aliančních sil,
- realizovat ochranu živé síly proti novým průzkumným a palebným systémům,
- dosáhnout balistické ochrany automobilní techniky před účinky nově vyvíjených účinnějších zbraní a munice,
- snížit zranitelnost letecké techniky proti pozemním útokům, proti průzkumným a palebným systémům.

Důležitým problémem spadajícím do oblasti terminální balistiky malorážových střel a střepin, kterému je nutné věnovat patřičnou pozornost, je případ vyrazení živé síly ukryté za překážkou (krytá živá síla). Stupeň balistické ochrany člověka před účinky průbojných střel (střepin) je do značné míry závislý na vlastnostech použitých materiálů balistické ochrany, jejich uspořádání a začlenění do konstrukce bojového vozidla, ale také na konstrukčních a balistických parametrech samotných protipancéřových střel.

Chování průbojně střely při zásahu tuhé desky a v průběhu jejího průniku, je složitý dynamický proces. U homogenních balistických překážek omezené tloušťky (ocelový plech, dřevo, sklo nebo tenký homogenní pancíř), kdy se dá očekávat průnik střely s přebytkem kinetické energie, je důležitý odhad stavu střely a jejího chování za touto překážkou.

Je velmi pravděpodobné, že střela po průniku překážkou se vedle ztráty podstatné části kinetické energie bude vyznačovat určitým stupněm deformace svého těla, ztrátou hmotnosti a nestabilitou pohybu. Důležitou otázkou, na kterou je nutné v takovém případě odpovědět, je zda si střela po průniku překážkou uchovala dostatečně velký ranivý potenciál k ničení živé síly, která je ukryta za překážkou.

Důležité je představit určité možnosti použití vybraných, empiricky sestavených matematických modelů v minulosti používaných pro výpočet limitních dopadových rychlostí protipancéřových střel nutných k probití tuhých překážek předem definované tloušťky a vlastností. Použití takových modelů považujeme pouze za první přiblížení při řešení výše popsané dynamické úlohy. Dalším postupným krokem se může stát počítačová simulace procesu průniku malorážové průbojně střely nebo jejího jádra ocelovou deskou s využitím metody konečných prvků (MKP).

Největší pozornost je věnována dveřím a sklům, protože střely útočníků většinou směřují, z horizontálního hlediska, na střední partie vozu - za dveřmi a ve výši oken sedí lidé, kteří mají být zasaženi střelami útočníků.

2.4.2 Zasklení karoserie automobilu

Pro zasklení oken karosérií se používají bezpečnostní skla v souladu s mezinárodními předpisy. Jsou čirá nebo tónovaná. Skla se označují značkou výrobce, značkou homologační a časovou značkou.

Na zasklení karoserie osobního vozidla a budky nákladního vozidla jsou kladeny následující požadavky:

- uzavření prostoru pro posádku;
- možnost vidění na všechny strany (odolnost proti mechanickému otěru);
- ochrana cestujících před vnikajícími částmi (např. kameny);
- definované zpoždění hlavy (např. při bočním nárazu);
- při prasknutí skla nesmí vzniknout střepiny způsobující zranění;
- dobrá viditelnost po prasknutí;
- co největší plastické vlastnosti při dostatečné pevnosti;
- ochrana před oslněním a tepelným zářením (determální skla).

K zasklení vozidel se používají bezpečnostní skla z vrstveného skla nebo tvrzeného skla. Požadavky na zasklení jsou uvedeny ve vyhlášce č. 102/1995 Sb. a metody zkoušení zasklívacích materiálů pro motorová vozidla jsou popsány v předpisu EHK-R 43.

Vrstvené sklo [3]

je zasklívací materiál ze dvou nebo více vrstev skla spojených mezivrstvami z plastu (např. polyvinylbutaral). Mezivrstva (fólie) drží pohromadě úlomky skla po jeho rozbití, a tím zabraňuje poranění osob.

Výhody:

Dostatečný výhled při prasknutí skla, pohlcení energie roztažením fólie, malá možnost poranění, absorpce tepla a ochrana proti slunečnímu záření barevnou fólií.

Nevýhody:

Drahá výroba, možnost zamlžení okrajů (omezení výhledu), teplotní závislost fólie a z toho závislá pevnost při proražení.

Tvrzené sklo [3]

je jednovrstvý homogenní tepelně zpracovaný zasklívací materiál. Tepelná úprava (kalení) způsobí změnu vnitřního pnutí skla, která má za následek rozpad skla na malé úlomky s tupými hranami po přesně definovaném nárazu.

Výhody:

Levná výroba, vysoká odolnost vůči nárazu deformovatelného předmětu, drobení při nárazu – tupé hrany.

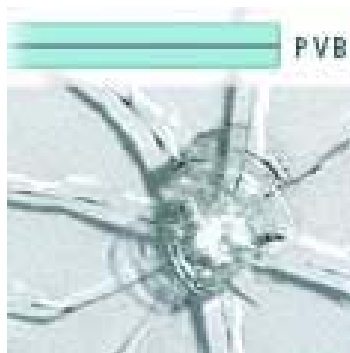
Nevýhody:

Pokud sklo praskne a neroztříští - zůstane v rámu a je neprůhledné (k tomuto jevu může dojít také náhlou změnou teploty), může vzniknout střepinový okraj.

2.4.3 Neprůstřelná – vrstvená skla

Vrstvené sklo se skládá ze dvou nebo více tabulí skla spojených vysoce elastickou polyvinylbutyralovou fólií (PVB). Základní myšlenka spočívá ve spojení skla s jiným materiálem, jehož mechanická odolnost v tahu je podstatně lepší než u skla. Tímto materiálem je již zmiňovaná PVB fólie, která je vkládána mezi skla ve formě filmu. Pomocí speciální technologie (autoclaving) je tento navrstvený systém slisován. Tzv. skleněný sendvič – Float/PVB/Float – tvoří základ vrstveného balisticky odolného skla. V případě mechanického

namáhání skleněného sendviče např. nárazu ostrým předmětem, dojde k destrukci skleněných tabulí, nikoliv však PVB fólie. I přesto, že jsou skleněné tabule skleněného sendviče rozbity, jednotlivé střepy neodpadávají a díky PVB folii zůstávají na svém místě (obr. 8).

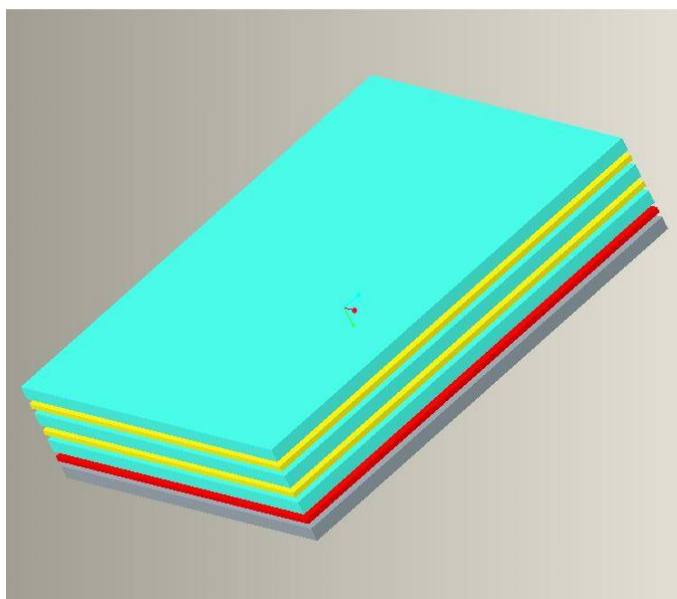


Obr. 8 Příklad skleněného sendviče – sklo Float/PVB folie/sklo Float.

Drobné úlomky a skelný prach však v některých případech odpadnout mohou. Toto je důvod, proč je v koncepci balisticky odolných skel dále zahrnuta tzv. „back“ vrstva, která je tvořena polycarbonátem (PC). Tato vrstva má funkci „lapače“ možných odlétávajících skleněných střepin po zásahu vrstveného skla projektilem, což zabezpečuje větší bezpečnost posádky vozidla. Díky této zadní polycarbonátové vrstvě, která je ke skleněnému sendviči připojena polyurethanovou folií (PU), jsou vrstvená skla označována jako tzv. bezodletová.

Princip neprůstřelnosti ve své podstatě spočívá v prvé řadě na rozdílu v rychlostech šíření rozruchu ve skle a ve folii. Postup vlnění ve skle je asi 4 x rychlejší než v plastických hmotách. Náraz střely vyvolá v prvním okamžiku rozruch, který se šíří sklem pokud nenarazí na folii. Zde se rozruch zbrzdí a odrazí zpět. Dochází tak k interferenci dopředného i zpětného vlnění a ke vzniku energetických uzlů. Ty způsobují drcení skla. Tím okamžikem vzroste odpor proti střele vznikajícím skelným prachem. Střela se začne zplošťovat, klesá specifické zatížení dalších vrstev skla a pochod se opakuje, avšak s podstatně menší brizancí až dojde k úplnému útlumu.

Na základě tohoto vyplývá, že neprůstřelné sklo musí mít dostatečný počet vrstev skla a dostatečný počet vrstev folií. Závislost mezi stupněm balistické ochrany a tloušťkou vrstveného skla znázorňuje *tabulka 3*.



Obr. 9 Příklad vrstveného skla s třídou

ochrany BR4 - F4/PVB/F6/PVB/F5/PU/PC.

I. **Floatové sklo** - F4, F5, F6 – float, tloušťka 4, 5 a 6 mm.

II. **PVB** – polyvinylbutyralová folie – tloušťka 0.76 mm.

III. **PU** – polyurethanová folie - tloušťka 1.25 mm.

IV. **PC** – polycarbonát - tloušťka 3 mm.

balistická odolnost EN 1063	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	BR7
přibližná síla vrstveného skla [mm]	-	-	16	20	31	38	85

Tab. 3 Síla vrstveného skla/ třída balistické odolnosti dle EN 1063

2.4.3.1 Sklo – sodnovápenaté - ploché - Float

Základní suroviny pro všechny druhy skel jsou křemičitý písek, soda, vápenec, živec. Suroviny jsou homogenizovány a taveny v pecích na sklovinu. V případě plochého skla Float, jehož základními složkami jsou oxidy - SiO_2 , CaO a Na_2O , je utavená sklovina vedena přes speciální výtok na cínovou lázeň, kde sklovina dostává svůj téměř dokonalý povrch. Po pozvolném ochlazení z teploty 900 – 1000 °C na teplotu cca 600 °C, se pás skla o šířce 3,5 m se dostává do chladicí pece, kde je ochlazován přesně řízeným režimem. Následně je tento pás skla na volné atmosféře samovolně dochlazován na manipulační teplotu.

Fyzikální vlastnosti skla:

Znalost fyzikálních vlastností skel (tepelných, mechanických, optických, atd.) je důležitá zejména při řešení technologických problémů, při technických výpočtech a zejména při charakterizaci výsledných produktů - vrstvených skel.

Horní transformační teplota $t_g = 540$ °C.

Dolní transformační teplota $t_o = 545$ °C tyto teploty by měly být udávány výrobcem.

Dolní chladicí teplota $t_f = 505$ °C.

Hustota $\rho = 2,49$ g/cm³.

Modul pružnosti v ohybu 61 500 – 67 000 MPa.

Pevnost v tahu za ohybu (tloušťka 5 mm) 50 MPa.

Střední součinitel teplotní roztažnosti $\alpha_{20-300} = 85$ až $90 \cdot 10^{-7}$ K⁻¹.

Propustnost světla (5 mm) 89 %.

Rozměry skla dané výrobcem:

Rozměry tabulí dodávané výrobcem pro sklárny jsou obvykle následující: šířka tabule 3210 ± 5 mm/výška tabule 2250 ± 5 mm. Tabulka 4 znázorňuje tloušťky floatového skla s odpovídající plošnou hustotou.

tloušťka tabule skla [mm]	plošná hustota [kg/m ²]
2	5
3	7,5
4	10
5	12,5
6	15
8	20
10	25
12	30
15	37,5

Tab. 4 Tloušťka tabule skla/plošná hustota.

2.4.3.2 Polyvinylbutyralová folie (PVB)

PVB patří do skupiny látek vysokomolekulárních. Výroba PVB fólie je poměrně komplikovaná. Základ tvoří speciální suroviny polyvinylbutyral a změkčovadla, jež se spolu smíchají a na vytlačovací lince je vyráběna fólie. Směs pro její výrobu tvoří přibližně 70 % polyvinylbutyral a 30 % změkčovadlo.

Vlastnosti folie [7]:

Vlhkost samotné folie – obsah vody ve folii se udává ve váhových procentech. Existují hranice vlhkosti 0.35 – 0.50 %, kdy folie PVB vykazuje nejvyšší účinnost v koncepci bezpečnostních skel. Tzv. mokrá folie způsobuje tvorbu bublin, suchá folie nepříznivě ovlivňuje bezpečnostní vlastnosti vrstvených skel.

Index toku – viskozitní vlastnost folie se vyjadřuje pomocí indexu toku při teplotě 150 °C a 90 °C. Tokové indexy jsou důležité pro odvození teplot lisu.

Rozměrová stálost – pokud je folie vystavena určité teplotě, prodělává rozměrové změny. Ve směru tažení se folie zkracuje, v příčném se prodlužuje. Hodnoty se měří při teplotě 60 °C a pohybují se kolem 3 %.

Drsnost povrchu – povrch folie je charakteristický dvěma jevy. Je to jednak rýhování jednostranné/oboustranné nebo povrch folie bez rýh. Rýhování folie má vliv na lepší odvod vzduchu při předlisování a zvýší tak přilnavost folie ke sklu při vrstvení.

Pevnost - u folie se udávají hodnoty pevnosti, které se pohybují v rozmezích 27 – 29 MPa.

Rozměry skla dané výrobcem:

Folie PVB je standardně vyráběna ve dvou tloušťkách 0.38 a 0.76mm, pro automobilový průmysl je používána síla folie 0.76 mm. Měření tloušťky se provádí pomocí mikrometru. Další charakteristiky běžně používané PVB folie jsou uvedeny v tabulce 5.

tloušťka [mm]	0,76
drsnost [μm]	22-40
pevnost v tahu [MPa]	min. 25
prodloužení [%]	min 2220

Tab. 5 Charakteristika PVB folie.

2.4.3.3 Polyurethanová folie (PU)

Alifatický PU reprezentuje zvláštní třídu termoplastického polyurethanového elastomeru. PU folie se používá jako mezivrstva pro spojení skla a PC, poněvadž při použití PVB vznikají při lisování látky, které způsobují degradaci PC.

Vlastnosti PU folie:

- umožňuje spojení různých materiálů
- houževnatost / odolnost
- optická čírost
- vynikající vlastnosti při rozptylu rázové energie – low/no spaling
- nízký zákal
- absorpce termálních a mechanických šoků
- nižší náchylnost pro vstup vlhkosti oproti PVB folii

měrná hmotnost [kg/m ³]	1,08
teplota pro lisování [°C]	85-125
lisovací tlak [MPa]	0,35-1,38
pevnost v tahu [MPa]	38
prodloužení [%]	500

Tab. 6 Fyzikální vlastnosti PU

2.4.3.3 Polykarbonát (PC) [5]

Tento materiál je mezi plasty nejvíce používaný pro výrobu vrstvených skel. S výhodou se využívá jeho hlavních předností, kterými jsou: tvrdost, vysoká propustnost světla, dvěstěpadesátkrát větší houževnatost oproti sklu, snadno se opracovává a tvaruje, má nízkou plošnou hustotu, atd.

Charakteristika PU folie:

- (+) vysoká pevnost v nárazu v širokém teplotním rozpětí (- 40 °C až + 135 °C)
- (+) vysoká houževnatost
- (+) dobré fyzikální vlastnosti, které platí pro široký interval teplot a vlhkostí
- (+) dobrá odolnost proti tečení
- (+) dobrá rozměrová stálost v širokém intervalu teplot
- (+) dobrá chemická odolnost
- (+) vysoká optická propustnost
- (+) UV ochrana
- (+) PC s „hardcoat“ – vrstva s tvrzeným povrchem zabezpečující odolnost proti vrypům a chemikáliím, na druhou stranu ale nižší adheze PU k tomuto povrchu
- (+) nízká měrná hmotnost ve srovnání s floatovým sklem
- (-) citlivost na porušení (vryp) = horší odolnost vůči oděru
- (-) materiál křehne při teplotách nižších než - 40 °C

Některé důležité fyzikální vlastnosti běžně používaného polycarbonátu uvádí následující *tabulka 7*.

měrná hmotnost [kg/m ³]	1200
mez pevnosti v tahu [N/mm ²]	65
modul pružnosti v tahu [N/mm ²]	2300
tepelná roztažnost [m/m·°C]	7·10 ⁻⁵
tepelná vodivost [W/m·°C]	0,21

Tab. 7 Fyzikální vlastnosti PC

3. Technologie výroby a zařízení

3.1 Skladování

Skladování skla

Na základě možnosti narušení povrchu plochých skel (koroze – chemické narušení vytvořeným vodním povlakem) v důsledku špatné přepravy či skladování je nutné, aby skleněné tabule byly při těsném dotyku chráněny před vlhkostí. Skladování skleněných tabulí je proto nutné realizovat v suchých prostorách se stejnou teplotou (zabezpečuje klimatizace v celém prostoru výrobní haly) ve stojanech tak, aby přístup a proudění vzduchu zamezilo orosení. Sklo je dodávané od výrobce pokryté separačním práškem.

Skladování PC

Jednotlivé tabule PC jsou skladovány v prostorách haly s vlastní klimatizační jednotkou. Skladování PC musí odpovídat doporučeným podmínkám dodavatele.

Skladování polyvinylbutyralové (PVB) a polyurethanové (PU) folie

Tyto folie je nutné skladovat v čistých, klimatizovaných prostorách s definovanou vlhkostí vzduchu a v původních neporušených obalech.

Pro skladování těchto materiálů je využíván chladicí box s nastavenou teplotou do 10 °C. Po přesunu folie bez původního neprodyšného obalu do čisté místnosti je nutné ji nechat nejdříve „aklimatizovat“. Touto „aklimatizací“ se vyhneme zvýšenému množství vody ve foliích, která by mohla způsobit snížení balistické odolnosti vrstvených skel.

3.2 Řezání

Technologie řezání skel a PC

- Očištění řezacího stolu od úlomků skla.
- Položení skla do správné řezací polohy (též dbát na orientaci cínové/necínové strany).
- Sklo je řezáno kolečkem z tvrdokovu, kdy pro různé síly skla se volí řezací kolečka s různým úhlem řezání – úhel kolečka 35° = síla skla 2 – 4 mm, úhel kolečka 55° = 10 – 12 mm.
- Vylamování skel (kleště, kladívka).
- Úprava hran v případě podlomů pomocí kleští a brusné houbičky.

Jednotlivé PC-ové desky jsou dle požadavků za pomoci šablon řezány ručně na dřevěném paletovém stole. Po nařezání musí být hrany PC upraveny (zabroušeny).

3.3 Úprava hran broušením a leštěním, vrtání

Technologie broušení a leštění

Pro jednotlivá skla se pro úpravu jeho hran používá:

1. Pásová bruska - dle požadavku na kvalitu hrany se zvolí druh pásu a jeho sklon.

Druhy pásů:

- diamantový – bílá hrana
 - perličkový – bílá hrana
 - korundový – zelená hrana
 - korkový – používá se pro leštění
2. Pro vrstvená skla se s výhodou používá kotoučové brusky, která ulehčuje manipulaci s těžšími skly. Podle požadavku na kvalitu hrany se opět vybere vhodný tvarový diamantový kotouč, který svým profilem určuje tvar broušené hrany (bílá barva hrany). Pro vyleštění hrany je používán leštící kotouč, který se vytvaruje podle tvaru hrany.

Vrtání

K vrtání otvorů se používají diamantové vrtáky vyrobené k vrtání jednoduchého nebo vrstveného skla.

Další úpravy

Abrazivní řezání vodním paprskem (hydroabrazivní vodní paprsek s brusným práškem) je technologický proces využívající vysokotlaký vodní paprsek s příměsí abraziva k řízenému řezání materiálu (*obr. 10*). Vodní paprsek je přesnou technologií pro dělení většiny materiálů (kovy, sklo, pryž, skla, kámen, keramika) do tloušťky cca 100 mm (dle typu materiálu) chladným řezem. Kvalita řezu vychází z rychlosti řezání v závislosti na typu a tloušťce materiálu. Optimální řez vzniká, je-li paprsek udržen po celou dobu průchodu materiálem ve válcovitém tvaru.

Tato technologie má řadu výhod, nejvýznamnější jsou:

- Řez probíhá bez tepelného působení (max. ohřev cca 40 - 50 °C), proto materiál nevykazuje fyzikální, chemické ani mechanické změny a je snadno následně obrobitelný.
- Lze řezat veškeré tvary, které respektují kruhový průřez paprsku (vodní paprsek $d = 0,15 - 0,30$ mm, hydroabrazivní paprsek $d = 0.8 - 2.0$ mm).



Obr. 10 Detail řezu vrstveného skla vodním paprskem.

3.4 Ohýbání skel

V případě lepených skel se využívá technologie samovolného ohýbání a to tak, že se ohýbají všechna skla určená k lepení najednou. Skleněná tabule ležící přímo na ohýbací formě je vždy rozměrově největší, ostatní jsou postupně menší až poslední (top) je nejmenší.

Vlastní ohýbání se provádí na formách, zhotovených ze žáruvzdorné oceli tř. 17. Tyto formy tzv. páskové jsou vyrobeny z pásů oceli tloušťky cca 3 mm a šířky cca 20 cm. Výroba této formy je náročná na přesnost provedení, proto se při její výrobě vychází z původního skla vyjmutého z vozu, doplněný výkresy, kde jsou uvedeny potřebné změny vůči originálu skla. V průběhu používání forem je také třeba kontrolovat konečný tvar hotových výrobků a každou odchylku včas na formách odstraňovat (např. rovnost uložených forem v peci apod.)

Technologii ohýbání lze rozdělit do tří oblastí: příprava k ohýbání, vlastní ohýbání v peci, výstupní kontrola.

1. Příprava

- a) Skla po broušení jsou omyta ve vertikální myčce teplou vodou, opláchnuta studenou a osušena oboustranným proudem vzduchu. Před ohýbací pecí je čistota jednotlivých skel kontrolována a v případě nutnosti jsou zbylé nečistoty odstraněny suchým hadříkem (bez chloupků), příp. pomocí lihu.
- b) Následuje rovnoměrné nanesení separačního prášku *Eskal 15* mezi jednotlivé vrstvy ohýbaných skel. Je důležité, aby se skla vzájemně nespekla (neslepila) vlivem transformační teploty (540 °C). Separací prášek je na jednotlivá skla aplikován ručně pomocí tkaninového sáčku, kdy volba hustoty vláken této tkaniny je rozhodující pro nanesení rovnoměrné separační vrstvičky.

2. Proces ohýbání

V jednom prostoru ohýbací pece dochází k ohřívání, ohýbání a chlazení skel na manipulační teplotu.

Tepelné zpracování skla spočívá v řízené, plynulé změně skla v závislosti na teplotě, kdy při zahřívání nebo chlazení se napříč stěny vytvoří teplotní gradient, jehož výsledkem je vznik napětí (přechodové, trvalé). Výpočty napětí (př. pomocí kompenzace či etalonů), jejich aplikace pro sestavy různých tloušťek, jsou obecně známé a pomáhají při stanovení průběhu teplotních křivek ohřevu i chlazení. Pro kvalitní ohnutí a vychlazení skla je nutné dodržet předem stanovenou teplotní křivku.

Ohřev- je rozdělen do několika kroků, kdy ohnutí sestavy plochých skel na ohýbacích formách probíhá při teplotě do 540 °C, která odpovídá T_g sodnovápenatého skla.

Prodleva - probíhá cca 15 min. U různých skel se, i podstatně, tato hodnota liší.

Chlazení - je rozloženo až do několika kroků, kdy se hodnoty dle druhu ohýbaného skla liší.

3. Výstupní kontrola

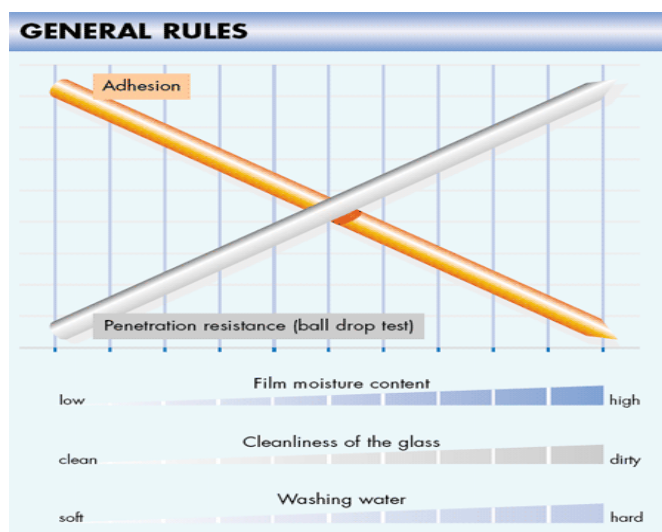
- Kontrola případných mezer mezi formou a sklem po celém obvodu, které jsou v mezích povolené tolerance do 2 mm a to ještě před sejmutím skla z formy.
- Označení jednotlivých skel tak, aby po rozložení mohla být opět složena v původním pořadí (v kterém byly ohýbány).
- Kontrola posunutí skel vůči sobě.

- Proměření skel z hlediska sférického ohybu a kontrola vzdáleností mezi jednotlivými skly speciálním měřidlem. Všechny tyto hodnoty jsou zapsány do „Ohýbací karty“, kde jsou i ostatní údaje o sklech. Z každého ohýbacího cyklu je také zapsán závěr, který obsahuje opatření k dalšímu ohýbání a zpracování skel.

3.5 Mytí plochých a ohýbaných skel

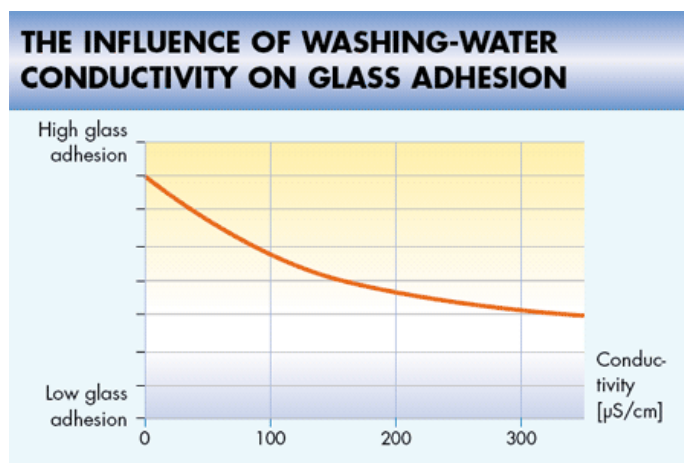
Technologie mytí skla

Kvalita finálního výrobku závisí zejména na kvalitě výchozích materiálů (float, folie, PC), kvalitě vyčištění jejich povrchů a čistotě pracovních prostorů (*obr. 11*).



Obr. 11 Závislost adheze na přítomnosti vody v PVB folii, na čistotě povrchu skel a na kvalitě (tvrdosti~vodivosti) vody užívané k mytí skel.

Obecně lze říci, že kvalita vody a míra čistoty povrchu skla jsou dva důležité faktory ovlivňující adhezi folie PVB ke sklu. Z tohoto důvodu by měla být skla v poslední zóně mycího stroje oplachována plně demineralizovanou vodou s hodnotou vodivosti $\leq 20 \mu\text{S}$, nejlépe $\leq 5 \mu\text{S}$ (je-li v první části mycí sekce použit detergent, je nezbytné používat pro finální opláchnutí skel plně demineralizovanou vodu. Efekt vodivosti (tvrdosti – pH) vody na adhezi folie ke sklu demonstruje *obr. 12*. Z tohoto obrázku je patrné, že adheze je právě snížena na poloviční hodnotu pro vodivost vody $150 \mu\text{S}$. Neupravovaná voda obvykle obsahuje soli alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Soli vápenaté a hořečnaté mají výrazný vliv na snížení vodivosti již od nízkých koncentrací, vliv solí sodných a draselných je oproti tomu těžko měřitelný.



Obr. 12 Závislost míry adheze na vodivosti vody používané k mytí. S rostoucí hodnotou vodivosti (pH) klesá adheze folie ke sklu.

Neblahý vliv na adhezi můžou mít také různé detergenty, zejména v tom případě, kdy by nebylo následně zajištěno co nejdokonalejší opláchnutí skel demineralizovanou vodou.

Povrch skel musí být dokonale čistý již před vstupem do čisté místnosti, kde jsou skla skládána.

Po omytí skel jsou skla umístěna na stojany nebo jsou přímo dopravníkem přemístěna do čisté místnosti. V čisté místnosti během skládání probíhá poslední vizuální kontrola čistoty a kvality povrchu skel (i folii a PC) a pro případné dočištění je použit lih.

Skla ohnutá v peci se musí mýt ručně, kdy nejdříve musí být co nejdůkladněji odstraněn tzv. separační prášek. Zde je velkým problémem prašnost a otázka co nejvhodnějšího a co nejméně prašného postupu. Je možná cesta mokrá, kdy se přistupuje přímo k omytí skla nebo se nejdříve separační prášek odstraní suchou cestou za použití tkaniny a pak se teprve přistoupí k vlastnímu mytí.

3.6 Skládání vrstvených skel v čisté místnosti

Skládání vrstvených skel je realizováno v tzv. čisté místnosti s vysokou čistotou prostředí, čehož bývá dosaženo speciální klimatizací, filtrací přiváděného vzduchu a zajištěním přechodových prostor z vnějšího prostředí do čistých prostor. Při skládání se používá ochranných pomůcek (rukavice, pokrývky hlavy, bílé obleky a boty), čímž je zabráněno znečištění skla a folii prachem, vlasy nebo omakem během vlastního skládání a balení. Výsledná kvalita skel záleží na pečlivosti a manuální zručnosti pracovníků a na čistotě.

Doporučené hodnoty teploty a relativní vlhkosti v místnosti jsou: 20 °C a 30 % H. Obě tyto veličiny je nutné automaticky zaznamenávat pro případ odhalení některých závad při kontrole kvality výrobků – vrstvených skel.

Postup skládání a balení skel do vakuových pytlů

- Kontrola čistoty a případné dočištění skel a ošetření PVB folií (před druhým cyklem v autoklávu – lisování PC - jde o kontrolu čistoty povrchu skleněného sendviče, PU a PC) za pomoci lihu, tkanin a pistolového elektrostatického zařízení (ionizační pistole).
- Příprava PVB folií – pro I. Cyklus (I.C) lisování skla a PVB folií (PU pro II. polycarbonátový cyklus lisování sestavy skel s PU a PC - II.C).

- Vlastní skládání – po položení fólie na spodní sklo se položí sklo druhé tak, aby nikde nevznikly přesahy (přebytek folie se odřízne) a tak se postupuje, až je sestava skel – I.C (či skel a PC v případě II. C). Během skládání probíhá kontrola cínové a necínové strany skla UV lampou.
- V případě skládání PC (II.C) - aplikace obvodové pásky která zabraňuje prostupu vlhkosti z vnějšího prostředí k hraně vylisovaného skla.
- Vložení složené sestavy do vakuového pytle
- Odsátí vzduchu z prostoru pytle připojením zpětného odsávacího ventilu na vakuový systém. Tento proces může být označen jako tzv. předlis za studena.
- Označení evakuovaného pytle číslem průvodky, druhem lisování a typem skla.
- Přeprava sestav skel k autoklávu.
-

3.7 Lisování skel – Horkovzdušný autokláv

Klíčem výroby vysoce balisticky odolných vrstvených skel je najít vhodný kompatibilní materiál, ale také najít co nejvhodnější proměnné parametry lisování (teplota T , tlak p , čas t). K lisování skel se s výhodou používá horkovzdušný autokláv, který spojuje dva kroky starší technologie – předlis a vlastní lisování vrstvených skel.

3.7.1 Technologie lisování

Vlastní lisování v autoklávu probíhá za současného odsávání vzduchu z vakuového pytle vrstveného skla. Lisování vrstvených skel s polycarbonátem probíhá ve dvou cyklech (I. C; II. C) dle vhodných programů, které mají rozdílné parametry – teplotu T , tlak p , časovou prodlevu při max. teplotě t , vakuum. Průběh lisování pro jednotlivé cykly je možno sledovat na monitoru autoklávu (závislosti jednotlivých nastavených a skutečných parametrů na čase). Během procesu lisování jsou pro přesnější sledování reálné hodnoty teploty T (prohřátí skel) používány termočlánky, které měří teplotu uvnitř skel různých sestav. Na základě výsledků měření jsou postupně upravovány parametry lisovacích cyklů, zejména pak časy jednotlivých lisovacích etap (ohřev, prodleva při max. teplotě, chlazení).

Parametry lisování se také upravují dle výsledků balistických zkoušek a průvodních zkoušek vzorků na adhezi.

3.8 Kontrola kvality, příprava skel na expedici

Toto pracoviště je posledním stanovištěm technologického toku výroby vrstevnatých skel. Úkony prováděné na tomto pracovišti jsou:

- Vybalení skel vyvezených z autoklávu.
- Po té je u jednotlivých skel prováděna kontrola:
 - čistoty, případně je provedeno dočištění skel,
 - síly digitální posuvkou,
 - čísla dle průvodního listu,
 - obvodové pásky,
 - tvaru,
 - vyhřívání (multimetr),
 - hodnocení optické neklidnosti zejména povrchu PC.

4 Předpisy a normy pro bezpečnostní vrstvená skla

V automobilovém průmyslu je konečná kvalita produktů kontrolována podle mnoha homologačních předpisů. V Evropě je nejznámějším předpisem ECE 43. Tento předpis slouží jako základ, o který se další dodatky a schválení opírají. Protože pro balisticky odolné zasklení neexistuje ucelená norma či předpis, neexistuje zkušebna, hodnotí se kvalita tohoto skla podle několika norem a předpisů tak, aby byly hodnoceny ty vlastnosti, které jsou od tohoto typu zasklení spotřebitelem požadovány. Pro balisticky odolné zasklení jsou tedy dále důležité normy či předpisy týkající se odolnosti proti střelám.

V následující části se budeme zabývat zejména těmi zkouškami, které realizovány pro skla s balistickou ochranou ve sklárně Přelouč.

Bezpečnostní sklo musí být dostatečně průhledné, nesmí způsobovat jakékoliv poznatelné zkreslení předmětů pozorovaných čelním sklem a nesmí způsobovat jakékoliv změny barev užitých v silničním provozu a u silničních signálů. Při roztříštění čelního skla musí být řidič stále schopen vidět dostatečně jasně silnici tak, aby byl schopen bezpečně brzdít a zastavit vozidlo.

Všechny typy bezpečnostního skla musí v závislosti na kategorii, do které patří, plnit následující zvláštní požadavky:

- tvrzená čelní skla – požadavky přílohy III D;
- rovnoměrně tvrzené sklo jiné než čelní skla – požadavky přílohy III E;
- normální vrstvená čelní skla – požadavky přílohy III F;
- normální vrstvené sklo jiné než čelní skla – požadavky přílohy III G;
- čelní skla z upraveného vrstveného skla – požadavky přílohy III H;
- bezpečnostní skla s plastickým povlakem – k výše uvedeným odpovídajícím požadavkům navíc požadavky přílohy III I;
- skloplastová čelní skla – požadavky přílohy III J;
- skloplastové tabule jiné než čelní skla – požadavky přílohy III K,
- celky s dvojitým zasklením – požadavky přílohy III L. [6]

Požadavky přílohy bodu 9 přílohy III C tj. obecné podmínky týkající se optických vlastností platí pro všechny typy čelního skla.

Požadavky na zkušební vzorky:

Velká pozornost musí být také věnována zkušebním vzorkům, které musí reprezentovat běžnou výrobu. Zkušební vzorky mohou být vyrobeny speciálně ve zkušební velikosti (předepsané normou) nebo nařezány z větších tabulí. Zkušební vzorek vyříznutý z větší tabule musí mít nejméně jednu hranu totožnou s hranou tabule, ze které byl vyříznut. Má-li konečný výrobek všechny hrany utěsněny/chráněny, pak i zkušební vzorek musí mít všechny hrany utěsněny/chráněny. Dále důležitým aspektem zkoušek je uchycení vzorku během testu (uchycení nesmí zakrýt dvě hrany vzorku) a kvalita použitého vzorku, kdy by měly být použity jen vzorky bez vad.

4.1 Plán vývoje globálního technického předpisu (GTR) pro bezpečnostní zasklívací materiály do motorových vozidel [9]

4.1.2 Účel předpisu

Navržený předpis chce vycházet z existujících národních předpisů smluvních stran cit. dohody i z mezinárodních norem a předpisů, avšak nemá obsahovat opatření týkající se nových materiálů, jako jsou plastová zasklení.

Motorová vozidla prodávají po celém světě a jsou vybavována stejným zasklením, GTR by přinesl zlepšení.

4.1.3 Popis navrženého předpisu

Globální technický předpis bude ve svém vývoji využívat nejlepších pracovních postupů z existujících předpisů, směrnic a průmyslových norem, jak jsou uvedeny níže.

Současné předpisy a směrnice

Následující předpisy byly vzaty do úvahy během vývoje nového globálního technického předpisu pro bezpečnostní zasklívací materiály:

Evropa:	UNECE Regulation No. 43 on Uniform Provisions Concerning the Approval Safety Glazing Materials and their Installation on Vehicles EU Directive 92/22/EEC on safety glazing and glazing materials on motor vehicles and their trailers EU Directive 89/173/EEC and 2000/1/EEC on certain components and characteristics of wheeled agricultural or forest tractors EU Directive 97/24/EEC and 2002/51/EEC on certain components and characteristics of two- or three-wheel motor vehicles
USA:	American National Standard for Safety Glazing Materials for Glazing Motor Vehicle Operation on Land Highways - Safety Code (ANSI Z26.1 – 1983) - Safety Standard (ANSI Z26.1 – 1996)
Japan:	Japanese Industrial Standard J IS R3211 (1998): - Safety Glazing Materials for Road Vehicles - Japanese Industrial Standard J IS R3212 (1998) - Test method of Safety Glazing Materials for Road Vehicles

Dobrovolné mezinárodní normy

ISO 3536 (1999)	Road vehicles – Safety glazing materials - Vocabulary
ISO 3537 (1999)	Road vehicles – Safety glazing materials – Mechanical tests
ISO 3538 (1997)	Road vehicles – Safety glazing materials – Test methods for optical properties
ISO 3917 (1999)	Road vehicles – Safety glazing materials – Test method for resistance to radiation, high temperature, humidity, fire and simulated weathering (1991)
DIN 52310	part 2 (1991) Headform impact test on safety glazing materials for road

4.1.4 Současný stav

Návrh GTR definuje požadavky na vlastnosti různých druhů zasklení tj. vrstvené, nebo tvrzené sklo určené k montáži do vozidel kat. M, N. Požadavky se vztahují na zasklení jako položku výbavy a neobsahují žádné požadavky na způsob instalace ve vozidlech. Požadavky na jakost některých z materiálů se liší, pokud jsou určeny k montáži jako čelní sklo nebo jako okenní tabule.

Návrh předpisu GTR obsahuje požadavky a zkoušky pro zajištění, že mechanické vlastnosti, optické vlastnosti a klimatická odolnost (environmental resistance) zasklení jsou vyhovující.

Ke sledování mechanických vlastností se užívá 4 zkoušek a požadavků: zkouška fragmentace, náraz koulí 227 g, náraz ocelovou koulí 2,26 kg a náraz maketou hlavy 10 kg. První tři zkoušky se objevují ve všech národních nebo oblastních předpisech. Zkouška fragmentace se v tomto návrhu předpisu GTR podobá zkouškám z předpisu EHK č.43 „Jednotné požadavky pro homologaci bezpečnostních zasklívacích materiálů a jejich montáž ve vozidlech“.

Tři typy optických vlastností jsou popsány v návrhu GTR: propustnost světla, optické zkreslení (visibility distortion) a oddělení sekundárního obrazu (double image). Nejnižší propustnost světla u zasklení důležitého pro pole výhledu řidiče dopředu se stanoví na 70 % jako v USA a v japonském předpisu a ne 75 % jako v evropských předpisech. Je to podloženo rozbořem o nákladech a výnosech. Způsob zkoušení je založen na předpisu EHK. Největším rozdílem vzhledem k ostatním zkouškám v národních nebo oblastních předpisech nebyly vlastní požadavky, ale zkušební postup. Bylo to odstraněno výběrem zkušebního postupu, který byl nejbližší podmínkám reálného světa.

Ke klimatické odolnosti uvádí návrh GTR požadavky na změnu teploty, ohnivzdornost, odolnost proti chemikáliím, proti odírání, proti záření, proti vysoké teplotě a proti vlhkosti. První čtyři z nich byly společné všem uvažovaným předpisům. Menší rozdíly ve zbylých třech byly odstraněny v návrhu GTR.

4.1.5 Technické zhodnocení

Zasklení vozidla přispívá k bezpečnosti vozidla mnoha způsoby. Proto musí prokázat celou řadu požadavků na jakost. Následující obecné vlastnosti jsou žádoucí:

- I. Zasklení vozidla musí mít dobrou mechanickou pevnost a odolnost proti lomu. Vysoká pevnost pomáhá zaručit, že takové předměty, jako jsou úlomky ze silnice vržené proti zasklení, neproniknou do prostoru pro cestující. Mechanická pevnost může rovněž pomoci zabránit vymrštění cestujících v případě kolize vozidel. Dobré lomové charakteristiky snižují pravděpodobnost zranění v případě rozbití.
- II. Zasklení vozidla musí mít taky dobré optické vlastnosti. To zajistí, že zasklení je dostatečně průhledné, aby zajistilo dobrý výhled na silnici a nevyvolávalo žádné zkreslení výhledu z vozidla.
- III. Pro zajištění trvalých vlastností po celou dobu života vozidla musí být zasklení odolné proti klimatickým podmínkám, s nimiž se setká v průběhu normálního provozu. To zahrnuje vliv atmosférické vlhkosti, měnících se teplot a oděru. U zasklení s odkrytým povrchem z plastů k tomu přistupují účinky chemikálií a hoření.

Požadavky společné všem předpisům

Všechny předpisy se vyznačují zahrnutím identických požadavků pro zasklení s nechráněným plastovým povrchem. Tyto požadavky se zkoušejí jako odolnost proti:

- a) změnám teploty
- b) ohni
- c) chemikáliím (tj.čisticím prostředkům)
- d) odírání.

Ze své podstaty je zasklení ze skla odolné proti těmto vlivům. Avšak zasklení s nechráněným plastovým povrchem by mohlo mít nízkou odolnost. Kdyby zasklení nebylo odolné proti změnám teploty, chemikáliím nebo odírání, byla by schopnost výhledu řidiče

tímto zasklením snížena. Protože u těchto požadavků existují důvody o jejich přínosu k bezpečnosti, byly zařazeny do návrhu GTR.

4.1.6 Optické vlastnosti

Vztah mezi propustností světla a potřebami výhledu řidiče je složitý. Hodnocené parametry zahrnují ostrost vidění (visual acuity), úroveň kontrastů, rychlost vozidla a umístění zasklení na vozidle. Teplo pohlcující barevné zasklení a teplo odrážející tmavé zasklení vedle žádoucího účinku, že omezuje množství tepla ze slunečního záření vstupujícího do vozidla, má současně i účinek nežádoucí tím, že omezuje schopnost výhledu z vozidla. Při přípravě návrhu GTR bylo odsouhlaseno, že plochy zasklení, důležité pro primární výhled řidiče, musí vykazovat špičkovou propustnost světla. Všechny současné národní a oblastní předpisy požadují vyšší propustnost pro plochy zasklení potřebné pro výhled řidiče směrem dopředu, tj. pro čelní skla a některá boční okna. V mnoha případech, kde současné národní a oblastní předpisy připouštějí sníženou úroveň propustnosti světla za řidičem, je to vázáno na požadavky uvedené v předpisech pro zpětná zrcátka.

S ohledem na požadavky na propustnost světla při výhledu dopředu návrh GTR definuje dolní mez na 70 % propustnosti světla. Současné národní a oblastní předpisy deklarují buď 70 % (USA) nebo 75 % (EHK). Studie laboratorních zkoušek a údajů o dopravních nehodách neukázaly vliv na bezpečnost se sníženou spodní mezí propustnosti světla. Proto byla přijata mez 70 % do návrhu GTR.

Návrh GTR také definuje meze pro optické zkreslení (visibility distortion) a oddělení sekundárního obrazu (double image). Pokud zasklení způsobuje příliš velké zkreslení nebo zdvojení obrazu, může to vést ke zmatení řidiče. Hlavní rozdíly v platných národních nebo oblastních předpisech neleží ve stanovených úrovních, nýbrž ve zkušebních postupech pro oba požadavky. V předpisech USA a Kanady se žádá měřit při normálním úhlu dopadu (tj. kolmo) vůči povrchu skla. Naopak evropské a asijské předpisy požadují měřit v předepsaných oblastech výhled pod stejným úhlem náklonu, jaký odpovídá provozní poloze zasklení. Protože evropské a asijské předpisy hodnotí obraz tak, jak jej vidí řidič, byly tyto zkoušky zahrnuty do návrhu GTR.

V době, kdy ukončily svůj vývoj prvotní předpisy, montážní úhel čelních skel byl velmi nízký, blížil se svislici. Moderní čelní skla mohou být složitá z hlediska designu. Jsou rozměrnější, s vysokými úhly náklonu (typicky přes 60° ke svislici) a ohnutí podle karosérie, aby se zlepšila aerodynamika. Zkreslení je funkcí úhlu dopadu a může být až 10krát větší při dopadu při úhlu 62° než při kolmém dopadu. Z těchto důvodů návrh GTR požaduje zkoušet při montážním úhlu dopadu, aby se zaručilo, že naměřená velikost zkreslení přesně odpovídá tomu, s čím může počítat řidič.

Návrh GTR obsahuje optické zkoušky v rámci pole výhledu přesně podle evropských a asijských předpisů. Protože současná čelní skla jsou rozměrnější, je skutečná řidičem využívaná plocha za normálních podmínek menší. Kvůli tvarování okrajů skel, které jsou často zakřiveny ve více než jednom směru, je účelné zkoumat jen nedělenou (entire) část čelního skla. Oblasti, používané v předpisech evropských a asijských, vycházejí z doporučeného postupu SAE č. J941 (Society of Automotive Engineers) „Motor Vehicles Drivers Eye Locations“. Tento doporučený postup vychází ze studie na skupině 2300 řidičů, složené ze stejného počtu mužů a žen, kteří zaujali polohu řidiče, jedoucího přímo vpřed (SAE Paper 650464). Eliptický obrys, definující plochu možného výskytu polohy oka, byl odvozen z pravděpodobnostní analýzy fyziologických dat. Dvojice těchto obrysů, neboli oční elipsy poskytují informaci o poloze oka řidiče a dají se využít k určení toho, co může řidič vidět. Porovnáním účelnosti s faktem, že oční elipsy poskytují dobrý odhad plochy čelního skla, kterou může typicky využívat řidič, definují se zkoušky jen na těchto plochách.

4.1.7 Rozsah platnosti

Návrh GTR je použitelný pro zasklení určené k montáži do vozidel kat. M a N. Návrh GTR definuje požadavky na zasklení jako položku příslušenství vozidla ale nikoliv na vozidlo.

Značení

Existující národní nebo oblastní předpisy vyžadují uvádět značky na zasklení, které se obecně rozděluje do tří kategorií:

- I. Typ materiálu, ze kterého je zasklení vyrobeno.
- II. Výrobce zasklení.
- III. Předpis (y), kterému vyrobené zasklení vyhovuje.

V první kategorii se předpisy liší jen v symbolech použitých pro určitý materiál, nikoliv v obsahu. Ve druhé kategorii vyžadují některé předpisy udat obchodní název firmy nebo její značku/logo, v některých se vyžaduje předepsaný identifikátor (assigned identifier) a v jiných zase vyšší úroveň detailů, např. nikoliv výrobce nýbrž přímo konkrétní závod, kde se zasklení vyrábí. Třetí kategorie obecně odráží rozdíly legislativních mechanismů v jednotlivých státech.

Tento návrh GTR definuje požadavky na značení jen pro první kategorii. Systém značení zde vycházel z předpisu EHK č.43, ale byly přidány určité další značky ke zvýšení záruky na to, aby každý typ zasklení, na něž se vztahují určité požadavky podle návrhu GTR, nesl i tomu odpovídající označení.

Smluvním stranám se ponechává možnost požadovat i nadále přídatné označení pro jednu nebo pro obě ze zbývajících kategorií. Ačkoliv si někteří výrobci přáli, aby návrh GTR zahrnoval i značení v těchto kategoriích, což by vyloučilo nutnost vícenásobného značení u zasklení, prodávaného ve více než jednom státě, současný návrh GTR žádná podobná opatření nepřináší.

4.1.8 Srovnání mezi Předpisem EHK č.43, japonskými bezpečnostními předpisy pro silniční vozidla a USA předpisem FMVSS 205

Vrstvená (laminated) čelní skla

ZKOUŠKA	EVROPA Předpis EHK č.43	JAPONSKO Bezpečnostní předpisy pro silniční vozidla, čl.29	USA FMVSS č. 205	NÁVRH GTR globálního techn. předpisu
Optika čelního skla Zkoušky na čelním skle:	- S použitím určených polí výhledu - V poloze úhlu zástavby - Podle ISO 3538	Zkoušky na čelním skle: - S použitím určených polí výhledu - V poloze úhlu zástavby - Podle ISO 3538	Zkoušky na čtvercích 12", které mohou být vyřiznuty z nejvíce zakřivených částí čelního skla: - pole výhledu nedefinováno - nezkoušeno v poloze úhlu zástavby - nevyužito postupu dle ISO 3538	Shodně s předpisem EHK č.43

Propustnost světla (TL= light transmission)	TL $\geq$ 75 % Postup dle ISO 3538	TL $\geq$ 70 % Postup dle ISO 3538	TL $\geq$ 70 % Postup dle ISO 3538	TL $\geq$ 70 %, tj.shodně s USA, Japonskem a směrnici 77/649/EHS Pole výhledu dopředu
Odolnost proti:- záření - vys.teplotě za sucha - vlhkosti Ohnivzdornost	Zkuš.postup dle ISO 3917 Rychlost hoření < 250 mm/min	Zkuš.postup dle ISO 3917 Rychlost hoření < 89 mm/min	Zkuš.postup dle ISO 3917, ale hodnocení pro vys.teplotu a vlhkost odlišné od Evropy a Japonska Rychlost hoření < 88,8 mm/min	Zkuš.postup dle ISO 3917 Hodnocení shodně s Evropou a Japonskem Rychlost hoření < 90 mm/min
Náraz koulí 227 g	Zkuš.postup dle ISO 3537 Zkoušky při +40°C a -20°C Proměnlivé výšky pádu podle Tloušťky	Zkuš.postup dle ISO 3537 Zkoušky při +40°C a -20°C Proměnlivé výšky pádu podle tloušťky	Zkuš.postup dle ISO 3537 Zkouška při +25°C Jednotná výška pádu	Zkuš.postup dle ISO 3537 Zkoušky při +40°C a -20°C Jedna výška pádu pro každou teplotu
Náraz šipkou 198 g	Bez zkoušky	Bez zkoušky	Zkouška při 25oC. Není zkouška dle ISO	Bez zkoušky
Odolnost proti průrazu koulí 2,26 kg	Postup dle ISO 3537 Volný pád z výšky 4,0 m	Postup dle ISO 3537 Volný pád z výšky 4,0 m	Postup dle ISO 3537 Volný pád z výšky 3,66 m	Shodně s předpisem EHK č.43

ZKOUŠKA	EVROPA Předpis EHK č.43	JAPONSKO Bezp.předpisy pro siln.vozidla, čl.29	USA FMVSS č. 205	NÁVRH GTR globálního techn. předpisu
Odolnost proti odírání	Postup dle ISO 3537	Shodně s předpisem EHK č.43	Shodně s předpisem EHK č.43	Shodně s předpisem EHK č.43
Náraz maketou hlavy	Postup dle ISO 3537 Hodnocení odolnosti proti průrazu a charakteru rozbití Volný pád z výšky 4m na ploché zkušební vzorky Volný pád z výšky 1,5 m na čelní sklo	Postup dle ISO 3537 Hodnocení a zkušební postup shodně s předpisem EHK č.43	Bez zkoušky	Volný pád makety hlavy z výšky 1,5m na čelní sklo zahrnut (evropská ani japonská zkouška na plochých vzorcích pádem z výšky 4m není zahrnuta)
Identifikace barev	Zkouška ověřující rozeznatelnost dopravních světél Není zkouška dle ISO	Shodně s předpisem EHK č.43	Bez zkoušky	Bez zkoušky

4.2 Čelní sklo

Cílem práce je posouzení vlivu balistické ochrany (navýšení tloušťky vrstveného skla) na optické vlastnosti skel. Požadavky na zasklení jsou uvedeny ve vyhlášce č. 102/1995 Sb. a metody zkoušení zasklívacích materiálů pro motorová vozidla jsou popsány v předpisu EHK-R 43. Nejprísnejší požadavky na zasklení jsou kladeny mimo jiné na čelní skla.

4.2.1 Definice

- „plochým čelním sklem“ čelní sklo, které nemá jmenovité zakřivení představované výškou segmentu větší než 10 mm na lineární metr;
- „zakřiveným čelním sklem“ čelní sklo, které má jmenovité zakřivení představované výškou segmentu větší než 10 mm na lineární metr;
- významným pro funkci, pro kterou je určena na vozidlo; významnost takové změny se posuzuje pomocí indexů obtížnosti;
- „úhlem sklonu čelního skla“ úhel tvořený svislou čarou a přímkou spojující horní a dolní okraj čelního skla, přičemž tyto přímky leží ve svislé rovině procházející podélnou osou vozidla; úhel sklonu se měří na vozidle stojícím na rovině;
- „výškou segmentu h“ maximální vzdálenost mezi vnitřním povrchem skla a rovinou procházející okrají této tabule skla; tato vzdálenost se měří ve směru, který je prakticky kolmý k tabuli skla.

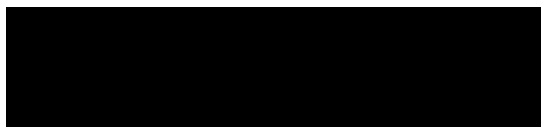
4.2.2 Zorné pole výhledu

- „Zorné pole výhledu“ jsou všechny směry dopředu a bočně, kterými může řidič vozidla vidět.
- „Vztažný bod“ je poloha stanovená dohodou, když oči řidiče vozidla jsou teoreticky umístěné v jediném bodě. Vztažný bod je umístěný v rovině rovnoběžné k podélné středové rovině vozidla a přechází přes střed sedadla 700 mm svisle nad průsečnicí této roviny a povrchem sedadla a 270 mm ve směru opěrky od svislé roviny procházející přední hranou povrchu sedadla a kolmo na podélnou středovou rovinu vozidla (*obr. 9*). Takto určený vztažný bod se vytahuje na sedadlo, které je neobsazené a je nastavené v střední poloze dané výrobcem vozidla

4.2.3 Plochy výhledu

Definice

V-body - body, jejichž poloha v prostoru pro cestující je určena svislými podélnými rovinami procházejícími středy stanovených krajních míst k sedění na předním sedadle a ve vztahu k *R-bodu* a konstrukčnímu úhlu opěradla; tyto body se používají k ověření, zda jsou splněny požadavky na pole výhledu.



Tab. 8 Základní souřadnice pro konstrukční úhel sklonu opěradla 25°.

R-bod - neboli vztažný bod místa k sedění.

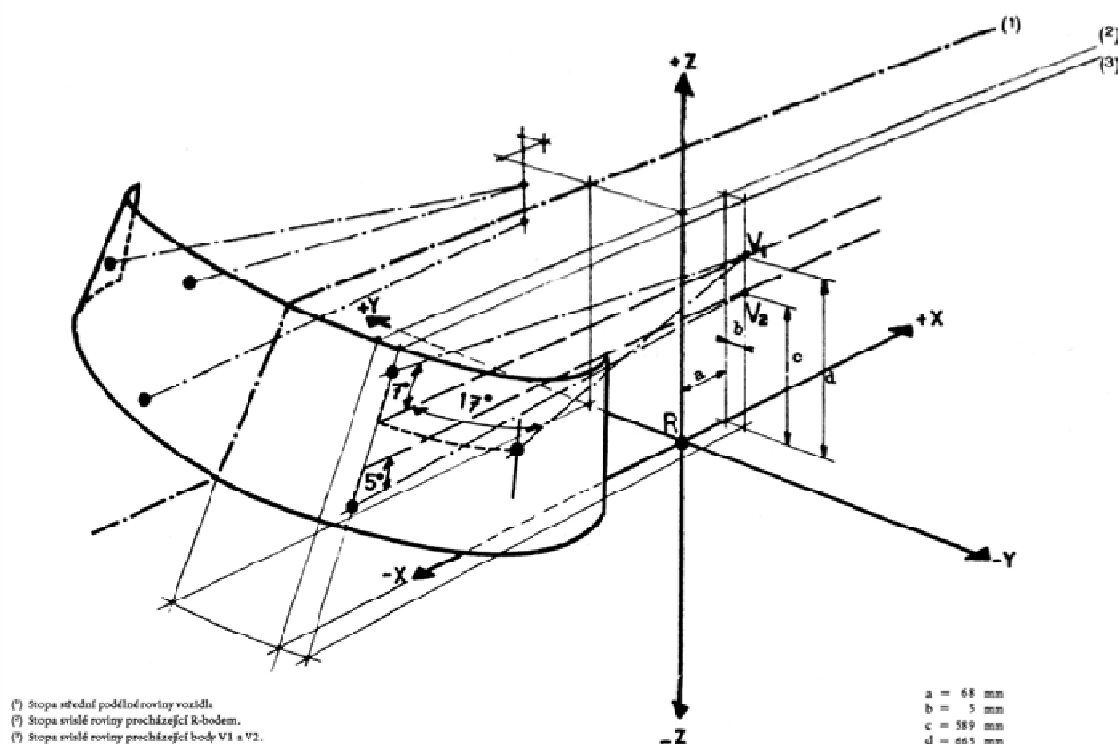
Vztažné body čelního skla - body nacházející se v průsečíku přímek, které vycházejí z V-bodů směrem dopředu na vnější povrch čelního skla, s čelním sklem.

Průhledná plocha - plocha čelního skla nebo jiného zaskleného povrchu vozidla, jehož činitel prostupu světla měřený kolmo k povrchu není menší než 70 %.

4.2.4 Postup stanovení ploch výhledu na čelních sklech kategorie M1 ve vztahu k V – bodům

Poloha V - bodů

Poloha V-bodů vzhledem k R-bodu v souřadnicích xyz trojrozměrné referenční sítě je uvedena v *tabulce 8*. *Tabulka 8* udává základní souřadnice pro konstrukční úhel sklonu opěradla 25°. Kladný směr souřadnic je vyznačen na *obrázku 13*.



Obr. 13 Stanovení V-bodů pro úhel opěradla sedadla 25°.

4.2.5 Plochy výhledu

Na základě *V-bodů* se stanoví dvě plochy výhledu: *A* a *B*.

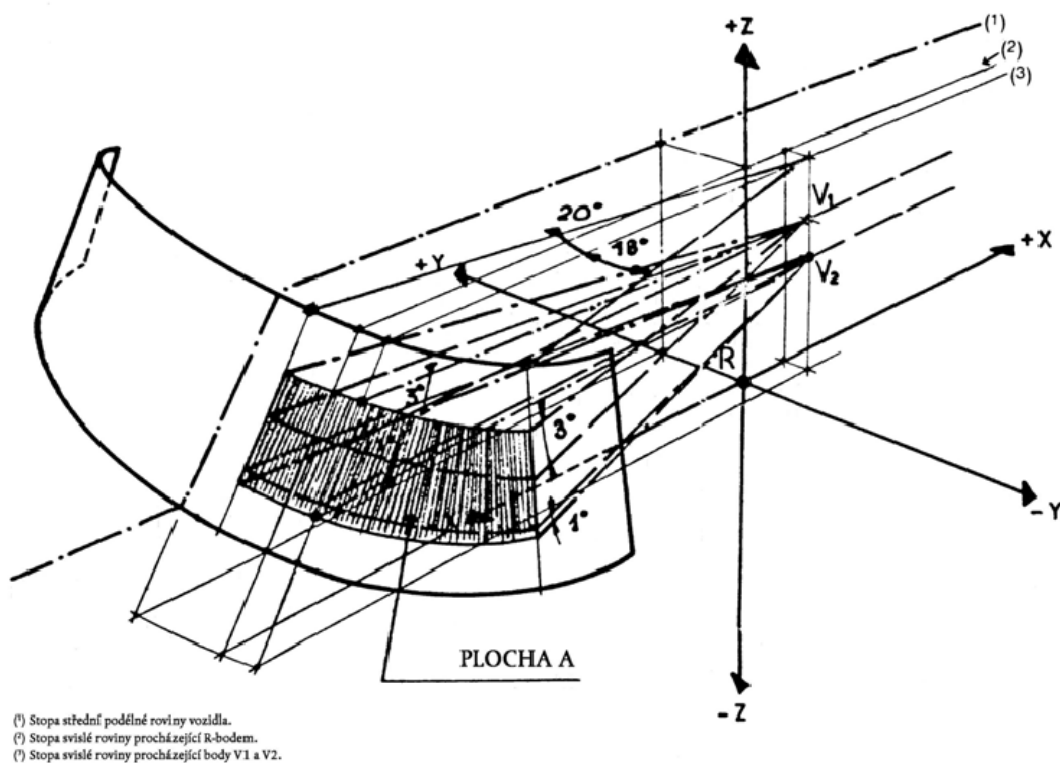
Plocha výhledu A je plocha na vnějším povrchu čelního skla ohraničená těmito čtyřmi rovinami vycházejícími z *V-bodu* směrem dopředu (viz *obrázek 14*):

- svislou rovinou, která prochází body *V1* a *V2* a vůči ose *x* se odklání nalevo pod úhlem 13°;
- rovinou, která je rovnoběžná s osou *y*, prochází bodem *V1* a vůči ose *x* je skloněna směrem nahoru pod úhlem 3°;
- rovinou, která je rovnoběžná s osou *y*, prochází bodem *V2* a vůči ose *x* je skloněna směrem dolů pod úhlem 1°;
- svislou rovinou, která prochází body *V1* a *V2* a vůči ose *x* se odklání napravo pod úhlem 20°.

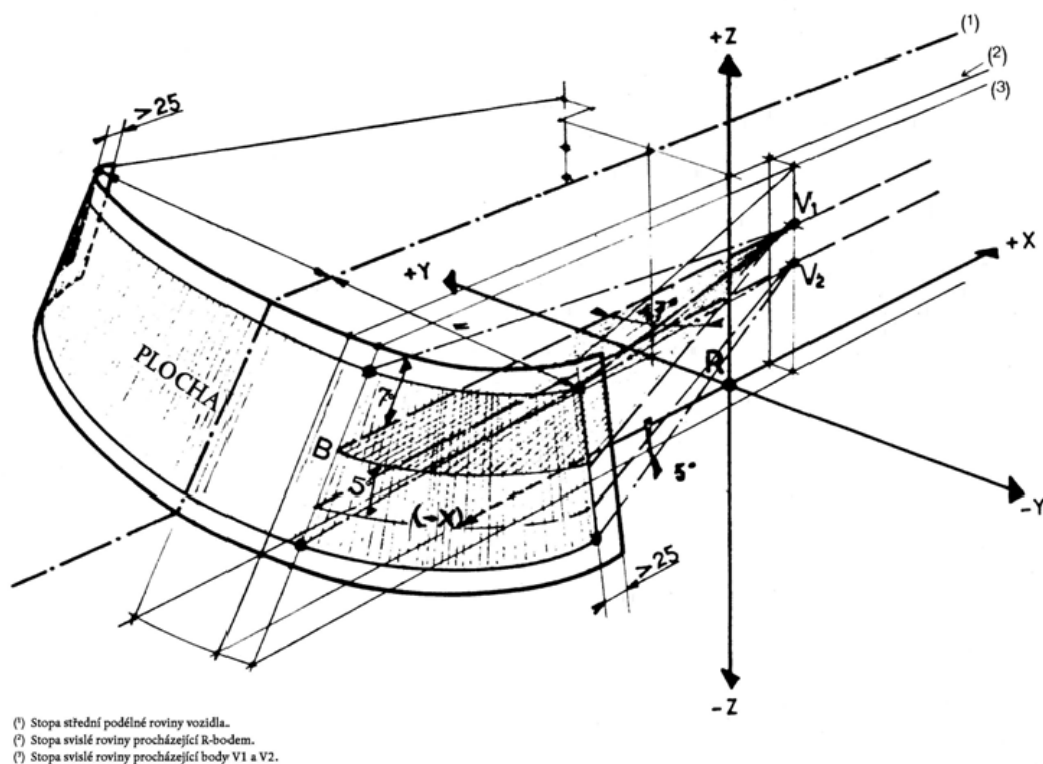
Plocha výhledu B je plocha na vnějším povrchu čelního skla, která je více než 25 mm vzdálena od vnějšího okraje průhledné plochy a ohraničena je průsečnicemi těchto čtyř rovin s vnějším povrchem čelního skla (viz *obrázek 15*):

- rovinou, která je rovnoběžná s osou *y*, prochází bodem *V1* a vůči ose *x* je skloněna směrem nahoru pod úhlem 7°;

- rovinou, která je rovnoběžná s osou y , prochází bodem V_2 a vůči ose x je skloněna směrem dolů pod úhlem 5° ;
- svislou rovinou, která prochází body V_1 a V_2 a vůči ose x se odklání nalevo pod úhlem 17° ;
- která je symetrická k předchozí rovině podle střední podélné roviny vozidla.



Obr. 14 Plocha výhledu A.



Obr. 15 Plocha výhledu B.

5 Zkoušky optických vlastností

5.1 Zkouška propustnosti světla[8]

Přístrojové vybavení

Světelný zdroj tvoří žárovka s vláknem ležícím v rovnoběžnostěnu měřicím ($1,5 \times 1,5 \times 3$) mm. Napětí na vlákne musí být takové, aby jeho barevná teplota byla $(2\,856 \pm 50)$ K. Toto napětí musí být stabilizováno v mezích $\pm 1/1000$. Přístroj užitý k ověření napětí musí mít odpovídající přesnost.

Optický systém sestávající z čočky s ohniskovou vzdáleností alespoň 500 mm korigovanou pro chromatické aberace. Plné otevření čočky nesmí být větší než $f/20$. Vzdálenost mezi čočkou a světelným zdrojem musí být seřizena tak, aby se dosáhlo svazku v podstatě rovnoběžných paprsků světla. K omezení průměru svazku světelných paprsků na (7 ± 1) mm se vkládá clona. Tato clona se umístí ve vzdálenosti (100 ± 50) mm od čočky na straně odlehle od zdroje světla. Měření se provádí v bodě, který leží ve středu svazku světelných paprsků.

Měřicí zařízení

Přijímač musí mít relativní spektrální citlivost v podstatě shodnou s relativní spektrální světelnou účinností ICI pro fotopické vidění. Citlivý povrch přijímače musí být pokryt rozptylujícím médiem a musí mít průřez rovný alespoň dvojnásobku průřezu rovnoběžného svazku paprsků světla emitovaného optickým systémem. Užije-li se integrující koule, musí mít otvor koule plochu příčného řezu alespoň dvojnásobnou, než je průřez rovnoběžné části paprsků. Linearita přijímače a příslušného měřicího přístroje musí být lepší než 2 % účinné části stupnice.

Postup zkoušky

Přístroj ukazující odezvu přijímače se seřídí tak, že ukazuje 100 dílků, jestliže do cesty světelných paprsků není vložena tabule bezpečnostního skla. Jestliže světlo na přijímač nedopadá, musí přístroj ukazovat nulu. Tabule bezpečnostního skla se umístí ve vzdálenosti od přijímače rovnající se přibližně pětinasobku průměru přijímače. Tabule bezpečnostního skla se vloží mezi clonu a přijímač a její sklon se seřídí takovým způsobem, že úhel dopadu svazku světelných paprsků je roven $(0 \pm 5)^\circ$. Součinitel normální propustnosti světla se měří na tabuli bezpečnostního skla a pro každý měřený bod se odečte počet dílků n indikovaný na indikačním přístroji. Normální propustnost τ_r je rovna $n/100$.

U čelních skel se mohou užít alternativní metody užívající buď zkušební kus odříznutý z nejplošší části čelního skla, nebo zvlášť připravený plochý čtverec mající charakteristiky materiálu a tloušťku jako u skutečného čelního skla, přičemž se měří kolmo k tabuli skla.

Indexy obtížnosti vedlejších vlastností

	Bezbarvé	Zbarvené
Zbarvení skla:	1	2
Zbarvení mezivrstvy (u vrstvených čelních skel):	1	2
	Vloženy	Nevloženy
Zbarvené nebo ztemňující pruhy:	1	2

Vyhodnocení výsledků

Normální propustnost světla nesmí u čelních skel být nižší než 75 % a u tabulí skla jiných než čelní skla nesmí být nižší než 70 %.

U skel namontovaných v místech, která nejsou podstatná pro pole výhledu řidiče (např. zasklená střecha), smí být normální součinitel propustnosti světla nižší než 70 %. Tabule skla, jejichž normální součinitel propustnosti světla je nižší než 70 %, musí být označeny příslušnou doplňující značkou [8].

5.2 Zkouška optického zkreslení [8]

Při této zkoušce jde o zjištění, zda se nezkruskuje předmět pozorovaný čelním sklem. Postupuje se tak, že se sklo upevní v té poloze v jaké je v dopravním prostředku a sklem se promítne na bílou stěnu sít' světlých kroužků na černém pozadí. Měří se největší deformace kroužků dle speciálního měřítka. Jsou určité podmínky pro zónu *A* a zónu *B*, které jsou u každého skla přesně určeny.

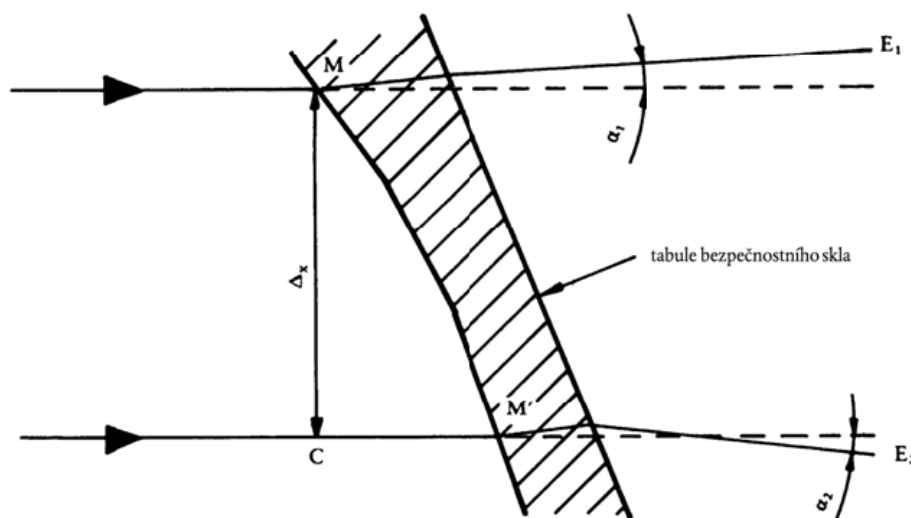
Rozsah platnosti

Specifikovaná metoda je projekční metoda k vyhodnocování optického zkreslení tabule bezpečnostního skla.

Definice

Optická odchylka: úhel mezi skutečným a zdánlivým směrem bodu pozorovaného skrz tabuli bezpečnostního skla, přičemž velikost úhlu je funkcí úhlu dopadu záměrné přímky, tloušťky a sklonu tabule skla a poloměru zakřivení v bodě dopadu.

Optické zkreslení ve směru MM' : algebraický rozdíl úhlové odchylky měřené mezi dvěma body M a M' na povrchu tabule bezpečnostního skla; vzdálenost mezi oběma body je taková, že jejich průměty na rovině kolmé ke směru pozorování mají od sebe danou vzdálenost Δx (viz obrázek 16).



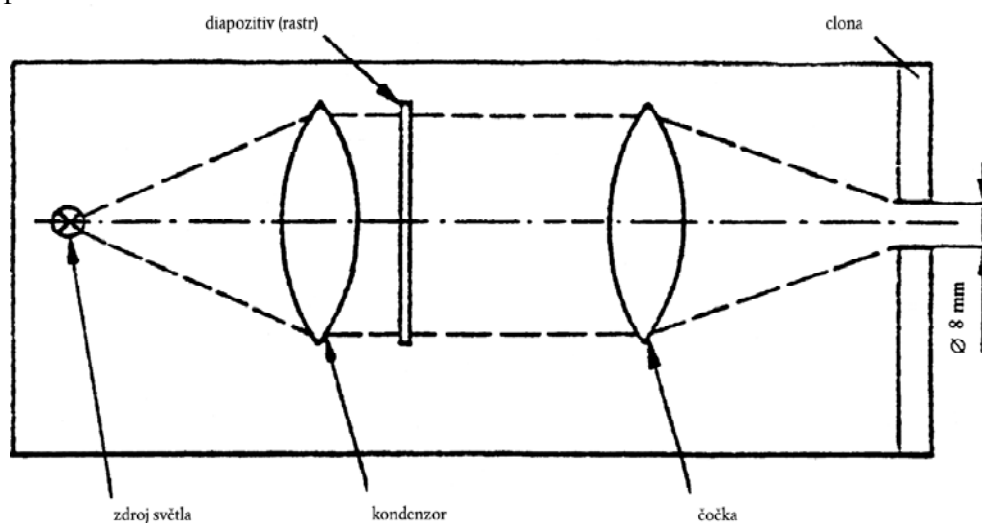
Obr. 16 Optické zkreslení ve směru MM' .

Odchylka proti směru otáčení hodinových ručiček se považuje za kladnou a ve směru otáčení ručiček za zápornou.

Optické zkreslení v bodě M : maximální optické zkreslení pro všechny směry MM' od bodu M .

Přístrojové vybavení

Metoda se zakládá na promítnutí vhodného rastru zkoušenou tabulí bezpečnostního skla na promítací plochu. Změna tvaru promítnutého obrazu při vložení tabule bezpečnostního skla do dráhy světla je měřítkem zkreslení. Přístroj musí obsahovat tyto následující položky uspořádané podle *obrázku 19*.

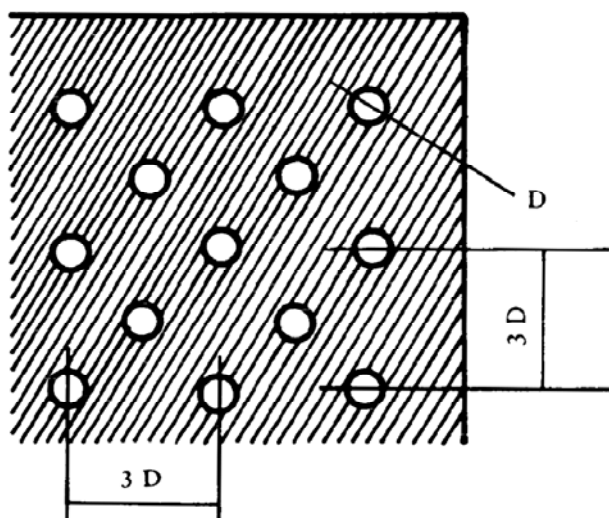


Obr 17 Optické uspořádání promítacího zařízení

Poznámky: $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$, tj. optické zkreslení ve směru MM' .
 $\Delta x = MC$, tj. vzdálenost mezi dvěma přímkami rovnoběžnými se směrem pozorování a procházejícími body M a M' .

Promítací zařízení dobré kvality s bodovým zdrojem světla vysoké intenzity mající například tyto vlastnosti:

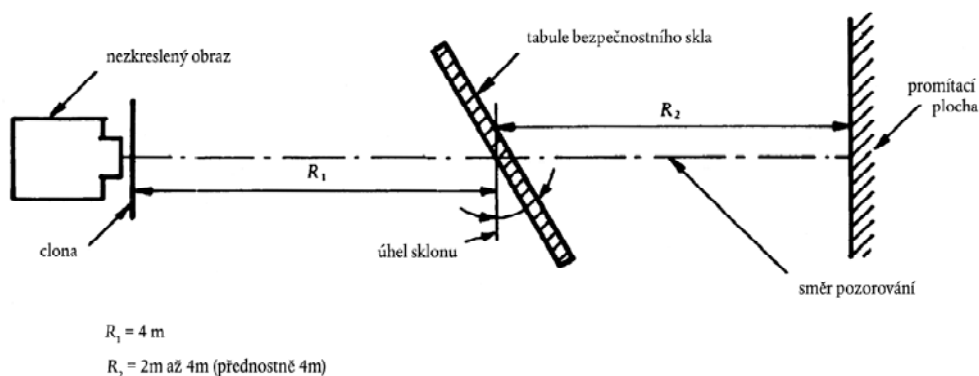
- ohniskovou vzdálenost alespoň 90 mm,
- aperturu přibližně 1/2,5,
- 150 W křemíkovou halogenovou žárovku (je-li užita bez filtru),
- 250 W křemíkovou halogenovou žárovku (je-li užita se zeleným filtrem).



Obr. 18 Zvětšená část diapozitivu.

Promítací zařízení je schematicky znázorněno na *obrázku 17*. Clona průměru $\varnothing 8$ mm je umístěna přibližně 10 mm od přední čočky.

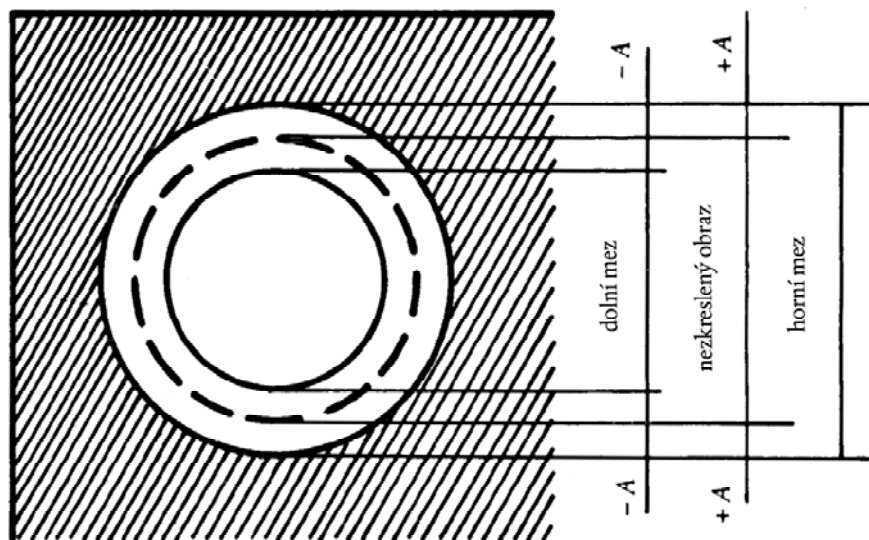
Diapozitivy (rastry) vytvořené například sítí světlých kroužků na tmavém pozadí (*obrázek 14*). Diapozitivy musí být dostatečně vysoké kvality a kontrastní, aby umožnily měřit s chybou menší než 5 %. Není-li vložena zkoumaná tabule bezpečnostního skla, musí být rozměry kroužků takové, že když jsou promítnuty, vytvářejí na promítací ploše sít kroužků o průměru $R_1 + R_2/R_1$, kde $\Delta x = 4$ mm (*obrázky 16 a 19*).



Obr. 19 Uspořádání přístroje pro zkoušku optického zkreslení.

Držák skla, pokud možno takový, aby umožňoval svislé a vodorovné snímání i otáčení tabule bezpečnostního skla.

Kontrolní šablona k měření změn v rozměrech, kde je žádoucí rychlé hodnocení. Vhodné provedení je znázorněno na *obrázku 20*.



Obr. 20 Provedení vhodné kontrolní šablony.

Postup zkoušky

Tabule bezpečnostního skla se namontuje do držáku ve stanoveném úhlu sklonu. Zkušební obraz se promítne vyšetřovanou plochou. Tabule bezpečnostního skla se natáčí nebo pohybuje buď vodorovně, nebo svisle za účelem vyšetření celé specifikované plochy.

Hodnocení s užitím kontrolní šablony

Jestliže postačí rychlé hodnocení s možnou chybou až 20 %, vypočte se hodnota A (obr. 20) z mezní hodnoty $\Delta\alpha_L$ pro změnu v odchylce a z hodnoty R_2 pro vzdálenost od tabule bezpečnostního skla k promítací ploše:

$$A = 0,145 \Delta\alpha_L \cdot R_2$$

Vztah mezi změnou průměru promítnutého obrazu Δd změnou úhlové odchylky $\Delta\alpha$ je dán rovnicí:

$$\Delta d = 0,29 \Delta\alpha \cdot R_2$$

,kdy jednotky jednotlivých parametrů jsou:

Δd - mm,

A - mm,

$\Delta\alpha_L$ - obloukové minuty

$\Delta\alpha$ - obloukové minuty

R_2 - m.

Měření fotoelektrickým zařízením

Jestliže se vyžaduje přesné měření s možnou chybou menší než 10 % mezní hodnoty, měří se d na projekční ose, přičemž hodnota šířky světelné stopy se zjišťuje v místě, kde je jas 0,5 násobkem maximální hodnoty jasu.

Vyždření výsledků

Optické zkreslení tabulí bezpečnostního skla se vyhodnotí změřením Δd v každém bodě povrchu a ve všech směrech za účelem nalezení Δd max.

Indexy obtížnosti vedlejších vlastností

Druh materiálu

Leštěné zrcadlové sklo

Plavené sklo

Tabulové sklo

1

1

2

Ke zkoušce se předloží čtyři vzorky.

Vyhodnocení výsledků

Typ čelního skla se pokládá za vyhovující z hlediska optického zkreslení, jestliže u čtyř vzorků předložených ke zkoušení nepřekročí optická zkreslení v žádné ze zón I nebo I' maximální hodnotu 2 obloukových minut.

Neprovádějí se žádná měření v obvodovém pásmu širokém 100 mm. U dělených čelních skel se neprovádějí žádná měření v pruhu širokém 35 mm od okraje tabule, který může přiléhat k dělicímu sloupku okna.[8]

5.3 Zkouška oddělování sekundárního obrazu

Tato zkouška se provádí tak, že se pozorovatel dívá sklem na bod a zjišťuje, zda se nevytváří zdánlivý druhotný, mnohem méně intenzivní obraz původního bodu, který se nesmí posunout o předepsanou hodnotu danou pro zónu A a B bílým mezikružím.

Rozsah užití

Jsou přípustné dva zkušební postupy:

- terčová zkouška,
- zkouška kolimačním dalekohledem.

Těchto zkoušek lze užít k schválení typu konstrukční části, kontrole jakosti nebo k hodnocení výroby.

5.4 Zkouška rozlišování barev

Pokud je čelní sklo zbarveno v zónách definovaných A a B, zkoušejí se čtyři čelní skla na rozlišování následujících barev:

- bílá,
- selektivní žlutá,
- červená,
- zelená,
- modrá,
- oranžová.

6 Výsledky zkoušek

6.1 Optické zkreslení

6.1.2 Příprava testu

6.1.1 Příprava testu

K testu optického zkreslení byly připraveny 4 vzorky (*příloha č. 2*) zastupující čelní skla Toyoty LC 100 - třídy balistické ochrany BR6 (*tab. 1, příloha č. 1*). Tyto vzorky vrstveného skla byly připraveny dle technologického postupu popsaneho v kapitole 3. Před umístěním vzorků na stojan byly pečlivě přečištěny a zbaveny případných nečistot pomocí lihu.

Stojan pro tuto zkoušku byl umístěn dle předpisu [8] ve vzdálenosti 4 m od projekční stěny. Sklon ramen pro přidržení skla byl nastaven pomocí digitálního sklonoměru na úhel odpovídající úhlu čelního skla v Toyotě LC 100 tj. 41° . Dále ve vzdálenosti 4 m byl umístěn diaprojektor s rastrem světlých kruhů na černém pozadí. Jednotlivé vzdálenosti byly přeměřeny a příslušné části byly zafixovány proti pohybu ve vystředěné podélné svislé rovině celé aparatur.

Seznam aparatur:

- ✓ Diaprojektor MEDIREX H 76119 F 100 (*příloha č. 2, obr. 21*)
- ✓ Stojan na čelní skla (*příloha č. 2, obr. 22*)
- ✓ Sklonoměr (*příloha č. 2, obr. 22*)
- ✓ Měrka přibližného optického zkreslení (*příloha č. 2, obr. 23*)
- ✓ Laserová měrka tloušťky jednotlivých vrstev vrstveného skla MERLIN (*příloha č. 2, obr. 24*)

6.1.2 Výsledky zkoušky

U vozidel kategorie M a N, se neměří optické zkreslení v obvodové oblasti- ve vzdálenosti 25 mm od černění, nebo hrany skla.

Prvním rokem vyhodnocení optického zkreslení vzorků vrstvených skel bylo změření hodnoty Δd v libovolném místě povrchu (ve všech směrech). Z těchto hodnot byly následně vypočítány dle následujících rovnic hodnoty Δd_{max} .

$$\Delta d = 0,29 \cdot \Delta \alpha \cdot R_2$$

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta d}{0,29 \cdot R_2}$$

Vzorek č	Optické zkreslení					
	Naměřená hodnota		Naměřená hodnota		Požadavek	
	Δd v mm		obloukové '		obloukové '	
	A	B	A	B	A	B
I	2	5	1,7	4,3	max. 2	max. 6
II	3,5	4	3	3		
III	3,5	5	3	3		
IV	2	3	1,7	2,6		

Tab. 9 Výsledky optického zkreslení

Vzorek č.	Tloušťka v mm					
	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6
I	37,2	37,4	37,4	36,8	38	37,5
II	37,4	37,7	38,4	37,8	39	38,2
III	37,1	37	37,4	37,4	38,5	37,5
IV	38,3	38,3	38,4	39	39,8	38,8

Tab. 10 Tloušťka jednotlivých vzorků v různých bodech (příloha 3 obr III)

Z tabulky 9 je patrné, že dva ze 4 vzorků překročí požadavky dané normou pro oblast A. U těchto vzorků se po druhém cyklu lisování (polycarbonátový – II.C) vyskytl vodorovný pruh se značným optickým zkreslením viz. obr. 35;36;37;38. Další zkreslení převážně při okrajích zóny B je následek lisování, kdy dochází ke stlačení krajových oblastí skel – ztenčení folií (tab. 10), toto ztenčení je dále dotvořeno gradientem teplot při tomto cyklu.

6.1.3 Možnost skrytí optického zkreslení na okrajích výrobce

Sklo má po celém obvodu nástřik černé barvy. Tento černý lem po obvodu skla zabraňuje průniku UV-záření k lepicímu tmelu (tmel nesmí být účinkům UV-záření vystaven) a současně má i estetický význam - zakrývá vnitřní konstrukci karoserie v obvodu okna, sběrnice vyhřívané folie, atd.. Další úlohou černění je zakrývat možné optické vady po obvodu skla, které mohou vznikat zejména při ohybu skel (na nejspodnějším sklu vznikají během procesu ohýbání tzv. otlaky způsobené dotykem tohoto skla a ohýbací formy).

6.2 Optická propustnost

Vlnové délky viditelného světla ve vakuu se pohybují v rozmezí cca 400 nm až 800 nm.

- 380–430 nm - vlnová délka fialového světla
- 430–500 nm - vlnová délka modrého světla
- 500–520 nm - vlnová délka azurového světla
- 520–565 nm - vlnová délka zeleného světla
- 565–590 nm - vlnová délka žlutého světla
- 590–625 nm - vlnová délka oranžová světla
- 625–740 nm - vlnová délka červeného světla

6.2.1 Příprava testu

K realizaci testu stanovení hodnoty činitele světelné propustnosti τ_V byly připraveny vzorky o rozměrech 100 x 100 mm:

1. float F6
2. float F8
3. F8x3(PVBx2)/PU/PC,
4. F8x4(PVBx3)/PU/PC,
5. F8x5(PVBx4)/PU/PC,
6. F8x6(PVBx5)/PU/PC.

Tyto vzorky vrstveného skla byly připraveny dle technologického postupu popsaného v kapitole 3. U tohoto druhu testu bylo využito alternativní metody přípravy vzorků, kdy pro vlastní testování byly speciálně připraveny ploché čtverce mající charakteristiky materiálů a tloušťky jako u skutečných čelních skel. Měření bylo provedeno při kolmém dopadu paprsku o předepsané vlnové délce na vzorek.

Hodnoty činitele světelné propustnosti τ_V byly získány z naměřených hodnot optické propustnosti $T\%$ v celé oblasti viditelného světla (VIS) – dle normy EN 410 – kdy hodnoty τ_V jsou cca průměrem optické propustnosti ve VIS oblasti spektra (380 – 780 nm).

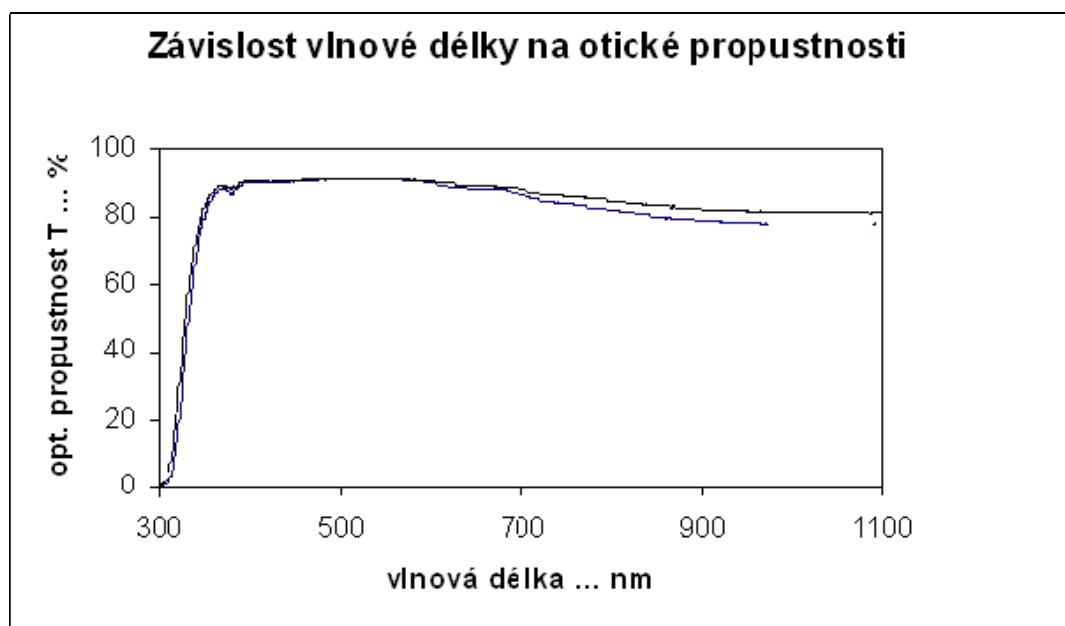
Seznam aparatur:

Ke stanovení optické propustnosti skel $T\%$ ve viditelné oblasti spektra, která následně sloužila pro výpočet hodnoty τ_V , byly použity následující spektrofotometrické přístroje:

- ✓ JASCO V-570
- ✓ Lambda 2500

6.2.2 Výsledky zkoušky

V první části zkoušky byla sledována změna hodnoty činitele světelné propustnosti $\tau_V\%$ ($T\%$) v závislosti na tloušťce floatu – F6, F8. Z grafu 1 je patrné, že nárůst tloušťky floatu z 6 mm na 8 mm nemá na hodnoty τ_V téměř žádný vliv: F6 - 91.8 % a F8 - 91.4 %. Vliv rozdílu tloušťky floatu se výrazněji projevuje až při vyšších vlnových délkách – nad 780 nm, což nemá vliv na výpočet hodnoty $\tau_V\%$ ve VIS oblasti spektra.



Graf 1 Závislost optické propustnosti na vlnové délce světla (VIS, IČ) pro float sklo o tloušťkách 6 a 8 mm..

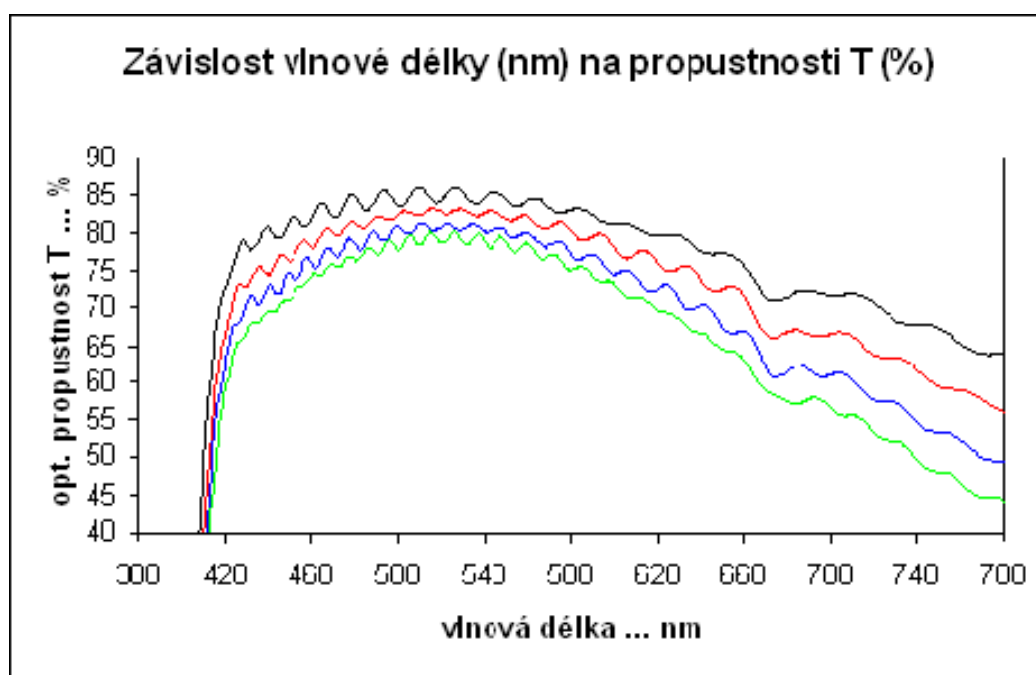
Dále byla sledována změna činitele světelné propustnosti $\tau_V\%$ ($T\%$) u vrstvených skel s polycarbonátem – PC – 3 mm. Graf 2 znázorňuje závislost $T\%$ na vlnové délce pro vrstvená skla následujícího složení:

celková teoret. tloušťka vzorku

- F8x3(PVB-0.76 mm x 2)/PU-1.2 mm/PC-3 mm ... 29.7 mm,
- F8x4(PVB-0.76 mm x 3)/PU-1.2 mm/PC-3 mm ... 38.5 mm,
- F8x5(PVB-0.76 mm x 4)/PU-1.2 mm/PC-3 mm ... 47.2 mm,
- F8x6(PVB-0.76 mm x 5)/PU-1.2 mm/PC-3 mm ... 56.0 mm.

Z jednotlivých závislostí je patrné, že se vzrůstajícím počtem vrstev floatu F8 (lineární zvýšení celkové tloušťky vrstveného vzorku vždy o hodnotu 8.76 mm) dochází k poklesu hodnoty τ_v % – 84, 81, 78, 76. Tento pokles však není lineární, má spíše parabolický charakter. Pokles hodnot τ_v % je dán narůstající tloušťkou vzorku (více vrstev – větší možnost rozptylu a ztráty intenzity procházejícího paprsku vzorkem a na rozhraních jednotlivých vrstev). Hodnota τ_v % je také vysoce závislá na kvalitě vylišování vrstveného skla – čím více jsou jednotlivé vrstvy v místě měření planoparalelní, tím dochází k menší ztrátě intenzity procházejícího paprsku skrze vzorek. Interference (mírné zvlnění křivek) může být způsoben přítomností jednostranně tvrzeného PC ve skle (tzv. „hardcoat“) nebo to může být důsledek vrstvení materiálů.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4 – nejnižší možnou hodnotou součinitele světelné propustnosti pro čelní sklo je dle předpisu EHK č.43 hodnota 75 %. Z testů měření optické propustnosti vrstvených vzorků vyplývá, že 6 vrstev floatu o tloušťce 8 mm je maximálním počtem vedoucí ke splnění tohoto požadavku (pro daný druh použitých materiálů). Při požadavku na výrobu čelního skla s vyšším počtem vrstev (vyšší celková tloušťka vzorku i balistický stupeň odolnosti), je nutné hledat materiály vykazující vyšší hodnotu součinitele světelné propustnosti.



Graf 2 Závislost T % na vlnové délce světla (VIS) pro vrstvená skla:

F8x3(PVBx2)/PU/PC,
F8x4(PVBx3)/PU/PC,
F8x5(PVBx4)/PU/PC,
F8x6(PVBx5)/PU/PC.

7 Závěr

Protože pro balisticky odolné zasklení neexistuje ucelená norma či předpis, hodnotí se kvalita tohoto skla podle několika norem a předpisů tak, aby byly hodnoceny ty vlastnosti, které jsou od tohoto typu zasklení spotřebitelem požadovány. Pro balisticky odolné zasklení jsou tedy dále důležité normy či předpisy týkající se odolnosti proti střelám. Dále vrstvené balisticky odolné sklo musí být dostatečně průhledné, nesmí způsobovat jakékoliv poznatelné zkreslení předmětů pozorovaných čelním sklem a nesmí způsobovat jakékoliv změny barev užitých v silničním provozu a u silničních signálů. Při roztříštění čelního skla musí být řidič stále schopen vidět dostatečně jasně silnici tak, aby byl schopen bezpečně brzdit a zastavit vozidlo. Tyto vlastnosti závisí na technologii výroby, zejména na vlastnostech použitých materiálů a pečlivosti při jejich zpracování u výroby vrstveného skla.

Např. do výroby může vstupovat již sklo s optickou vadou, tyto vady se dále dají rozšířit na vady vzniklých např. při špatně zvolených krocích při lisování či ohýbání (špatný odvod tepla, nesprávné nastavení proměnných parametrů v autoklávu apod.). Ve sklech tak vznikají oblasti vykazující optické skreslení či horší lokální optickou propustnost světla. Vzhledem k tomu, že se jedná o vrstvená skla o tloušťce až 60 mm a o speciální technologii výroby o mnoha krocích, nelze dosáhnout tak snadno jednoznačných výsledků v oblasti kvality - jako je tomu u klasických automobilových bezpečnostních dvojskel. Z tohoto důvodu je nutné přizpůsobit existující předpisy pro běžná automobilová skla pro testy ve zkušebnách pro vrstvené balisticky odolné zasklení.

Mnou popsaná technologie výroby vrstveného skla odpovídá technologii, která je využívána DIVIZÍ SKLA firmy SVOS s.r.o. Přelouč. Cílem popisu technologie výroby bylo objasnit náročný postup vzniku automobilových bezpečnostních vrstvených skel, popsat jednotlivé vrstvy, z kterých se vrstvené sklo skládá, a princip dosažení balistické odolnosti. Ve sklárně probíhá souběžně také vývoj nových technologií - zařazování stále nových členů do výsledných produktů, jako je například vyhřívání čelního skla apod. Dále je vývoj zaměřen na vyhledávání stále nových vstupních materiálů pro výrobu vrstvených skel, což vede k zdokonalování výrobků jako např. zvýšení stupně balistické ochrany bez navýšení celkové tloušťkou sendviče, vyšší optická propustnost pro danou třídu balistické odolnosti.

Jak již bylo zmíněno, pro zkoušení skel s balistickou ochranou neexistuje norma jako pro bezpečnostní skla sériových dopravních prostředků. Jako jeden z příkladů proč se volí určité kompromisy bych uvedl např. mechanické zkoušky čelních skel v předpisech je dáno že se sklo má po nárazu tzv. maketou hlavy volným pádem z výšky 1,5 m rozlomit řízeným způsobem bez významného průniku a vykázat charakteristickou prohlubeň s radiálními a obvodovými prasklinami, jak je to známo z typických silničních havárií. To je při zvoleném stupni balistické ochrany nemožné a je tak zvolena vyšší priorita ochrany osádky před útočníkem než před nárazem.

Z výsledků testu popisující vliv balistické ochrany skel, tedy vliv jednotlivých vrstev vrstveného skla na optické vlastnosti jasně plyne, že největší vliv na optické zkreslení má PC deska mající funkci vrstvy chránící osoby před fragmenty poškozeného skla. Optické vlastnosti PC jsou změněny během lisování, jehož cílem je dokonalé spojení jednotlivých vrstev, kdy dochází k vysávání vzduchu z oblasti mezivrstev. PC je mnohem citlivější na teplotu lisování (140 °C) a na případný vznik nerovností způsobených podmínkami lisování (nevhodná volba proměnných parametrů T , p , t) – II. C – než vrstvy floatu, které jsou již předohnuty v peci a během lisování v autoklávu již nemění svůj tvar.

Druhý test prokázal, že PC i folie PU a PVB vykazují vynikající optickou propustnost, která je srovnatelná (nebo jen o málo nižší) s floatem ($T = 84\% - 90\%$ v závislosti na síle PC desek či folií). Dále z měření optické propustnosti 6-ti vzorků vrstvených skel vyplývá jasná závislost mezi počtem vrstev floatu ve vrstveném skle (nárůstem tloušťky) a hodnotou součinitele světelné propustnosti. Požadavek vyšší třídy balisticky odolného zasklení znamená

zvýšení počtu vrstev floatu, což má za následek dva nežádoucí efekty - snížení součinitele světelné propustnosti a zvýšení váhy skla. Limitní hodnota součinitele světelné propustnosti pro čelní skla je dle předpisu EHK č.43 hodnota 75 %. Navyšování celkové váhy při pancéřování také není možné do nekonečna, ale je to dáno konstrukcí a max. možným zatížením daného typu vozidla. Toto je důvod nutnosti kompromisů při výrobě balisticky odolného zasklení a zejména hledání nových materiálů s vyšší odolností proti střelám (např. vyšší tvrdost), s vyšší optickou propustností ve VIS oblasti spektra a s přijatelnou plošnou hustotou a cenou.

Příloha č. 1

Toyota LC 100



Technické údaje:

Motor	1 HZ, řadový vznětový motor s nepřímým vstřikem
Počet válců	6
Zdvihový objem	4164 ccm
Výkon KW (PS)/min	96 (130)/3800
Točivý moment Nm/min	285/2000
Převodovka	5-ti stupňová, plně synchronizovaná
Pohon náprav	Stálý pohon zadní nápravy, za jízdy přiřaditelný pohon přední nápravy
Podvozek	Žebřinový rám, tuhé nápravy, vinuté pružiny, stabilizátory
Brzdy	2 - okružové, se zátěžovým regulátorem pro zadní nápravu
	Přední - kotoučové vnitřně chlazené
	Zadní - samostavitelné bubnové
Řízení	Šnekové řízení s oběhem kuliček s posilovačem
Disky	16 x 6,5J, ocelové
Pneumatiky	235 / 85 R 16

Toyota LC 100 po upravách firmou SVOS



Upravená Toyota LC 100 firmou SVOS [4]



Vrstvené sklo bočních dveří Toyota LC 100 [4]

- vrstvená skla s polykarbonátem
- diskrétní pancéřování ohleduplné k původní konstrukci
- anti – fragmentová ochrana střechy a podlahy
- Run-flat pneumatiky pro nouzový dojezd při defektu
- protipožární systém motoru a palivové nádrže
- vylepšený systém odpružení podvozku
- zesílené panty
- vyztužené okenní rámy

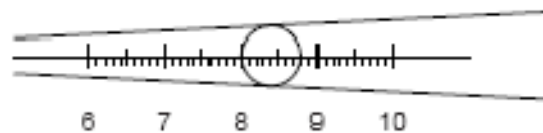
Příloha č. 2



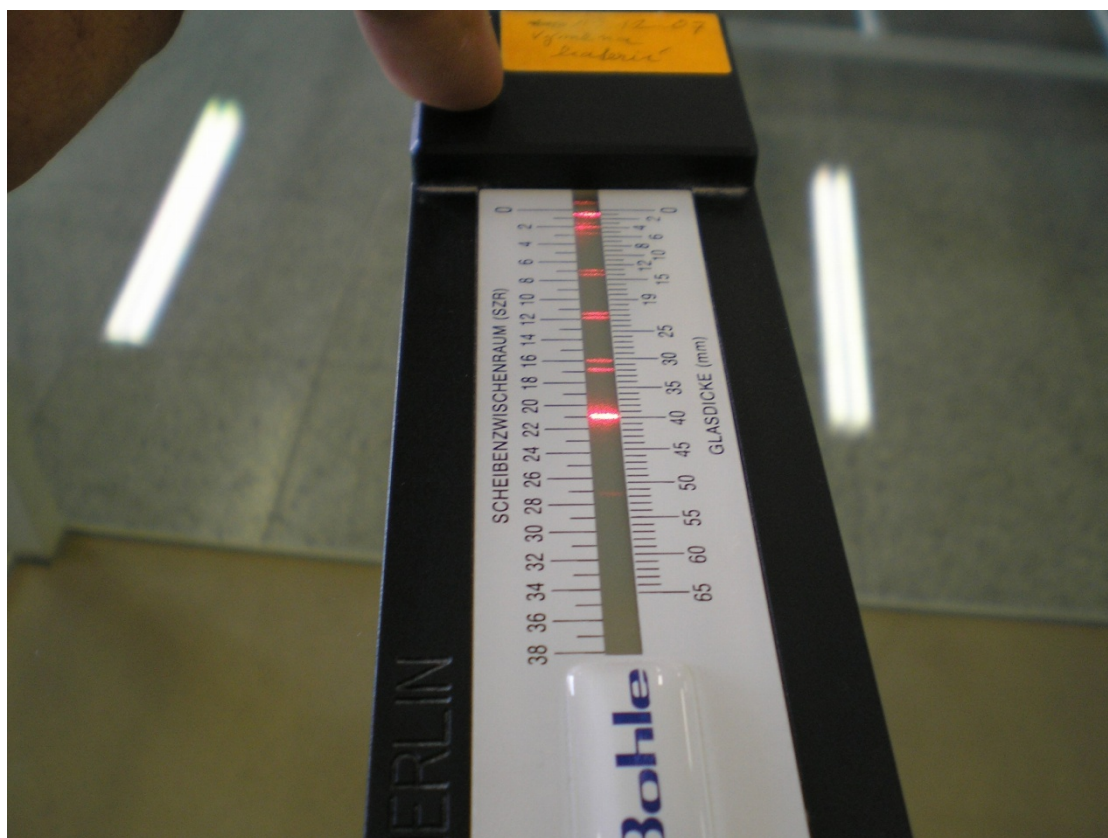
Obr. 21 Diaprojektor MEDIREX H 76119 F 100.



Obr. 22 Stojan na čelní skla a sklonoměr DL -100.



Obr. 23 Měrka přibližného optického zkreslení.

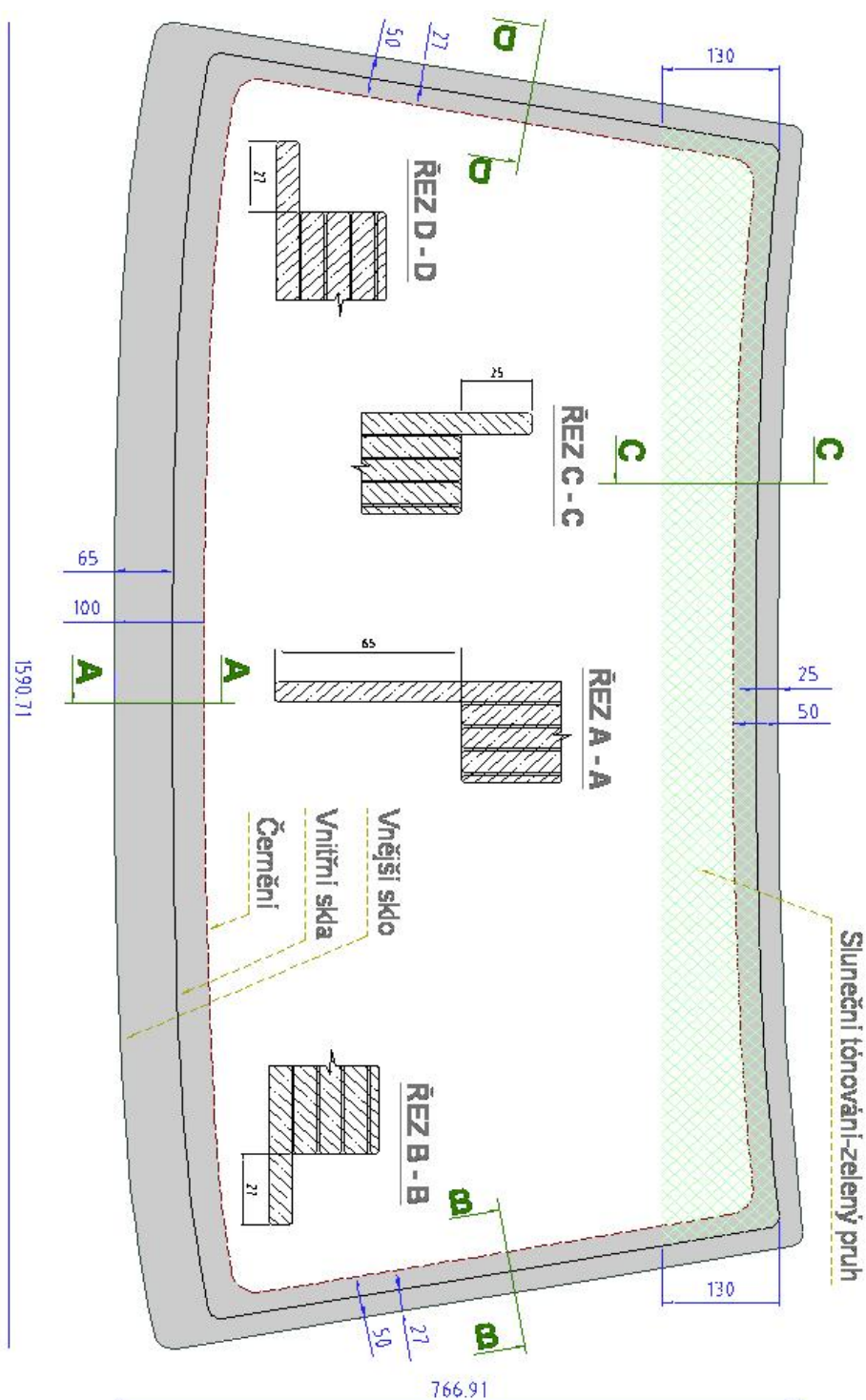


Obr. 24 Laserová měrka síly jednotlivých vrstev sendvičového skla MERLIN.

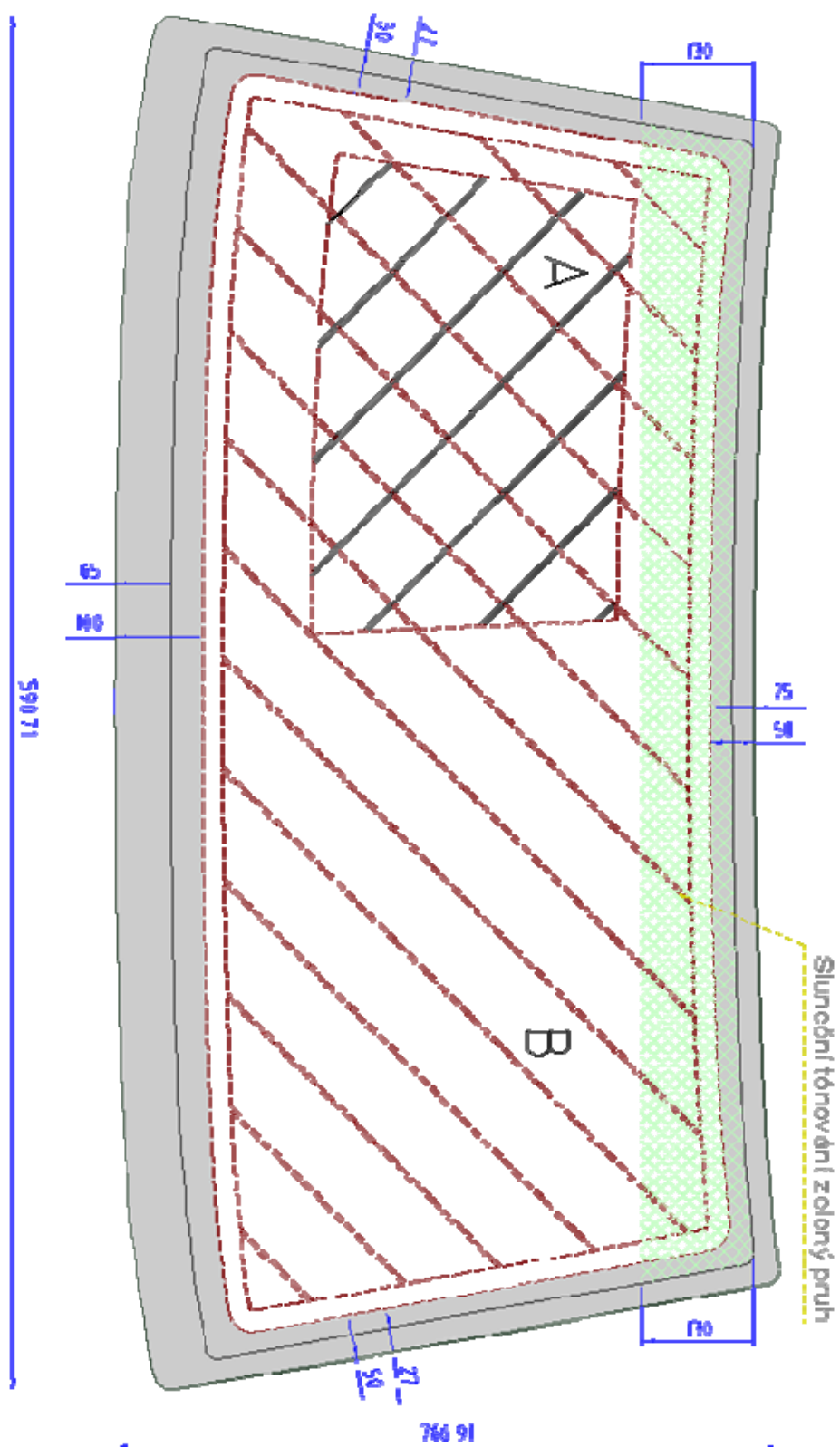
Příloha č. 3

Technické parametry skla:

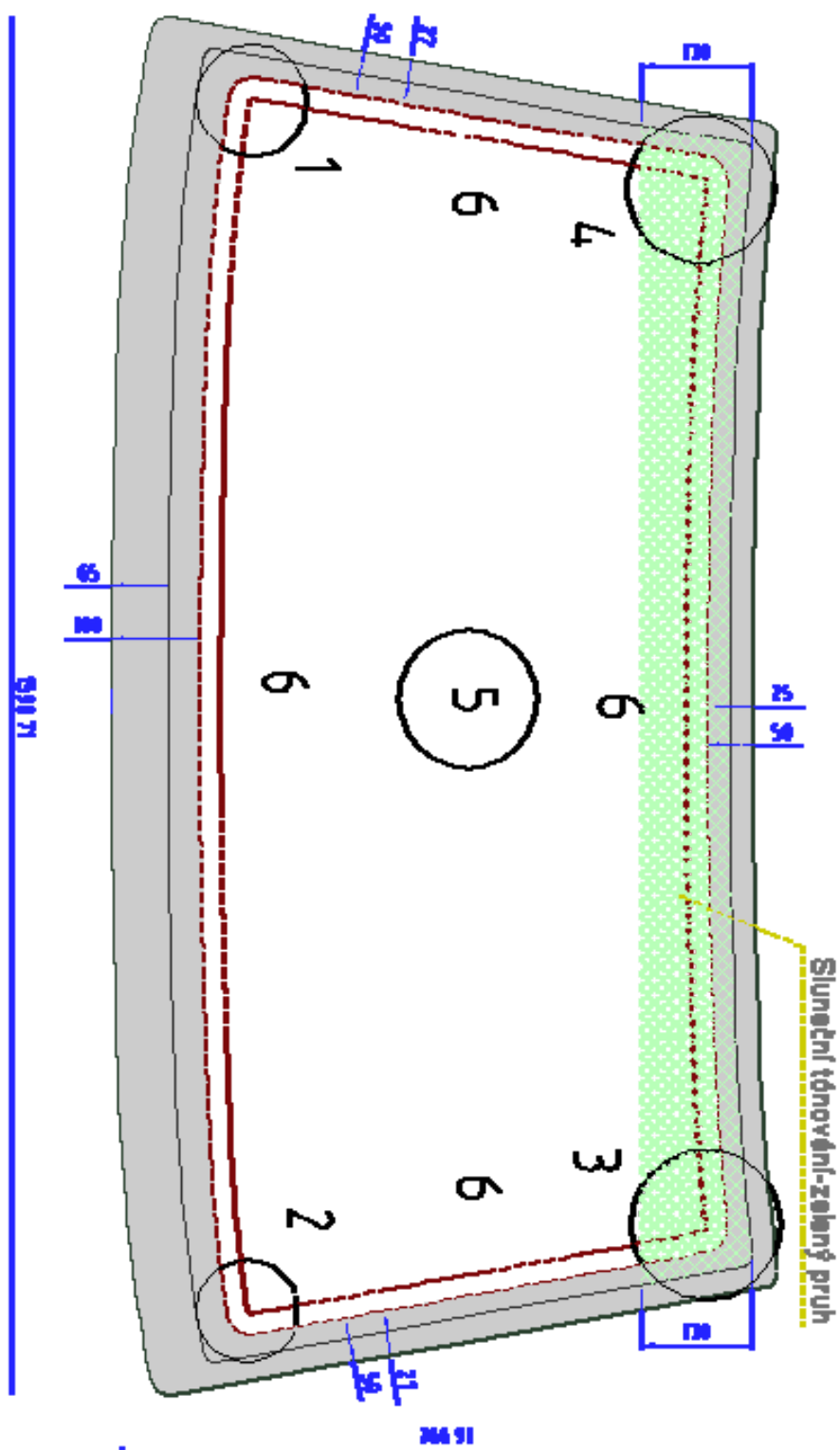
- ✓ Balistická odolnost – B6SF
- ✓ Celková síla skla – 38-39mm
- ✓ Složení skla – F8 / PVB / F8 / PVB / F8 / PVB / F8 / PU / PC (F8- floatové sklo o tloušťce 8 mm, PVB - polyvinylbutyralová folie– síla 0.76 mm , PU – polyurethanová folie – síla 1.2 mm , PC - polycarbonát – síla 3 mm – PC je na vnitřní straně skla)



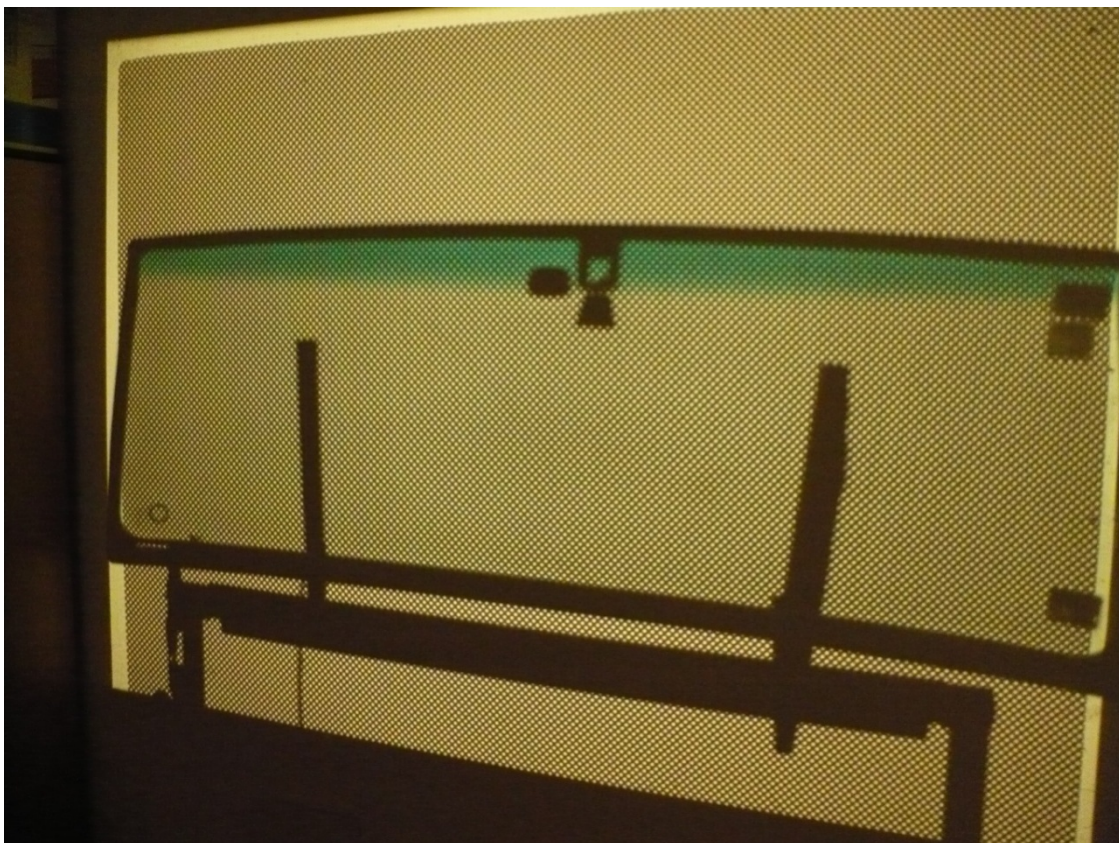
Obr. I. Technický výkres čelního skla Toyota LC 100 s třídou ochrany BR6.



Obr. II. Čelní sklo Toyoty LC 100 s plochou A a B.



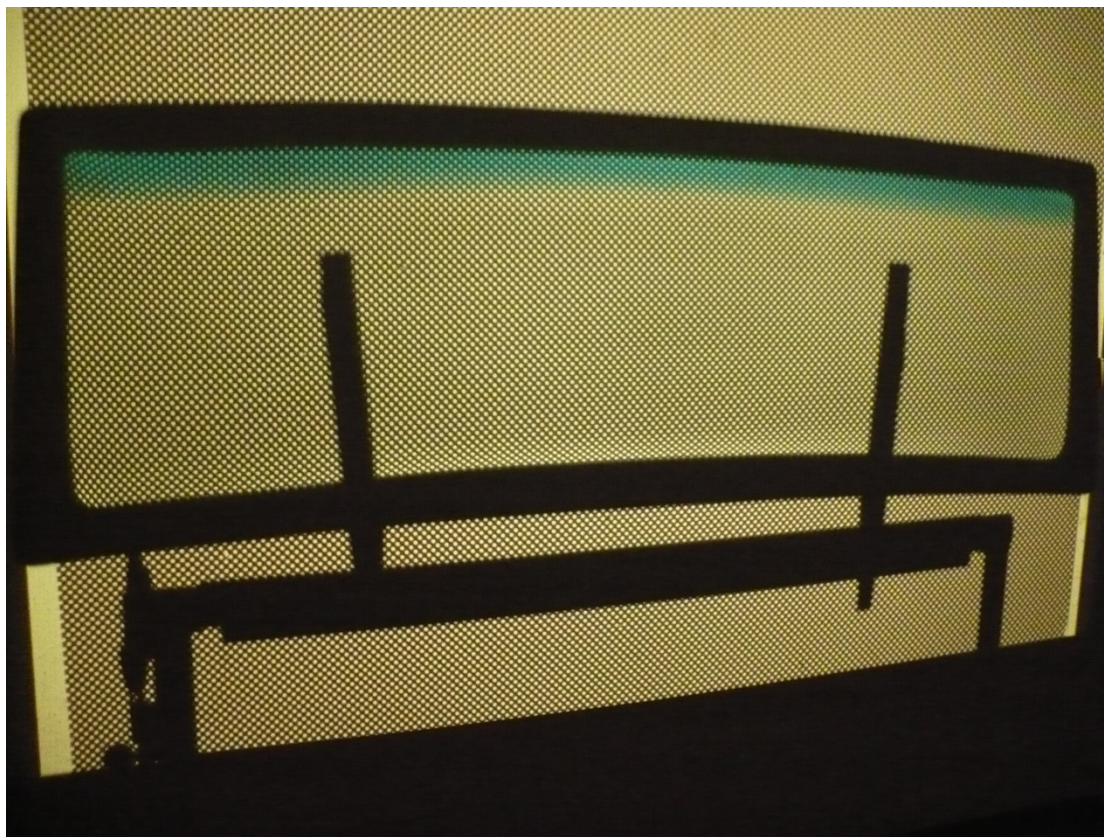
Obr. III. Čelní sklo Toyota LC 100 s body měření tloušťky.



Obr. IV Originální čelní sklo Toyota LC 100.

Příloha č. 4

Vzorky čelních skel bez PC



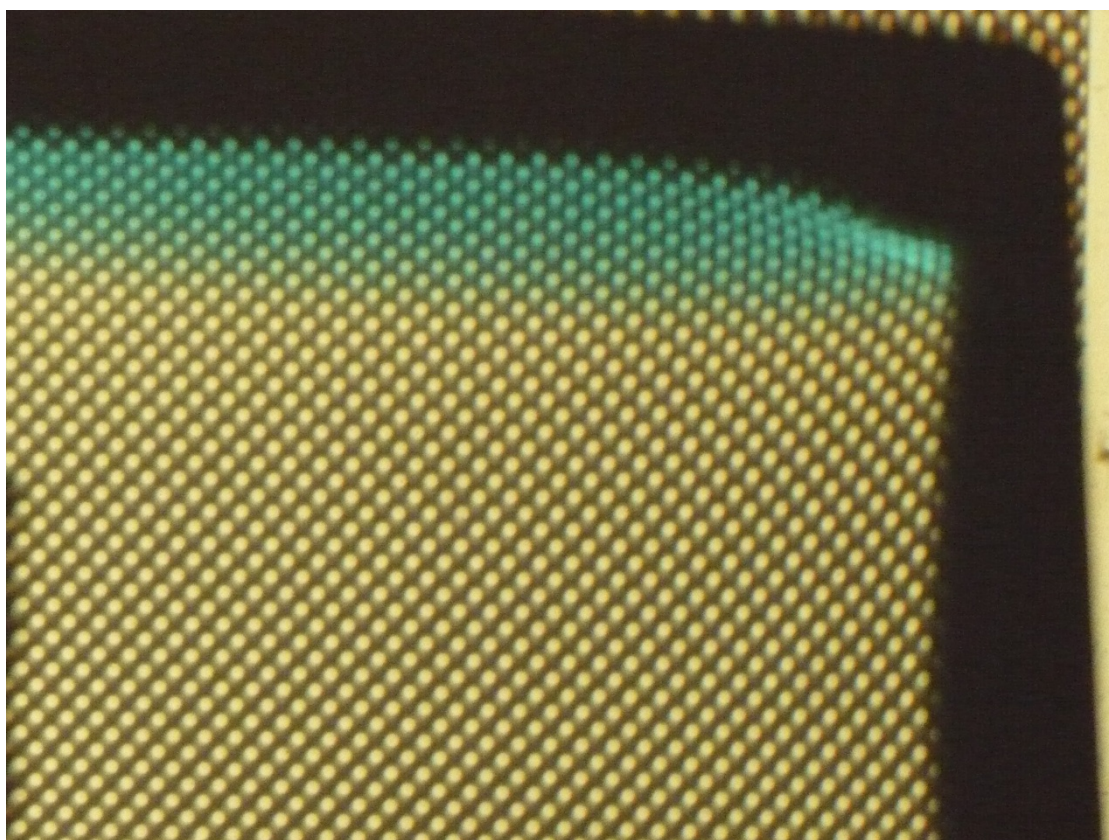
Obr. 25 vzorek č. 1.



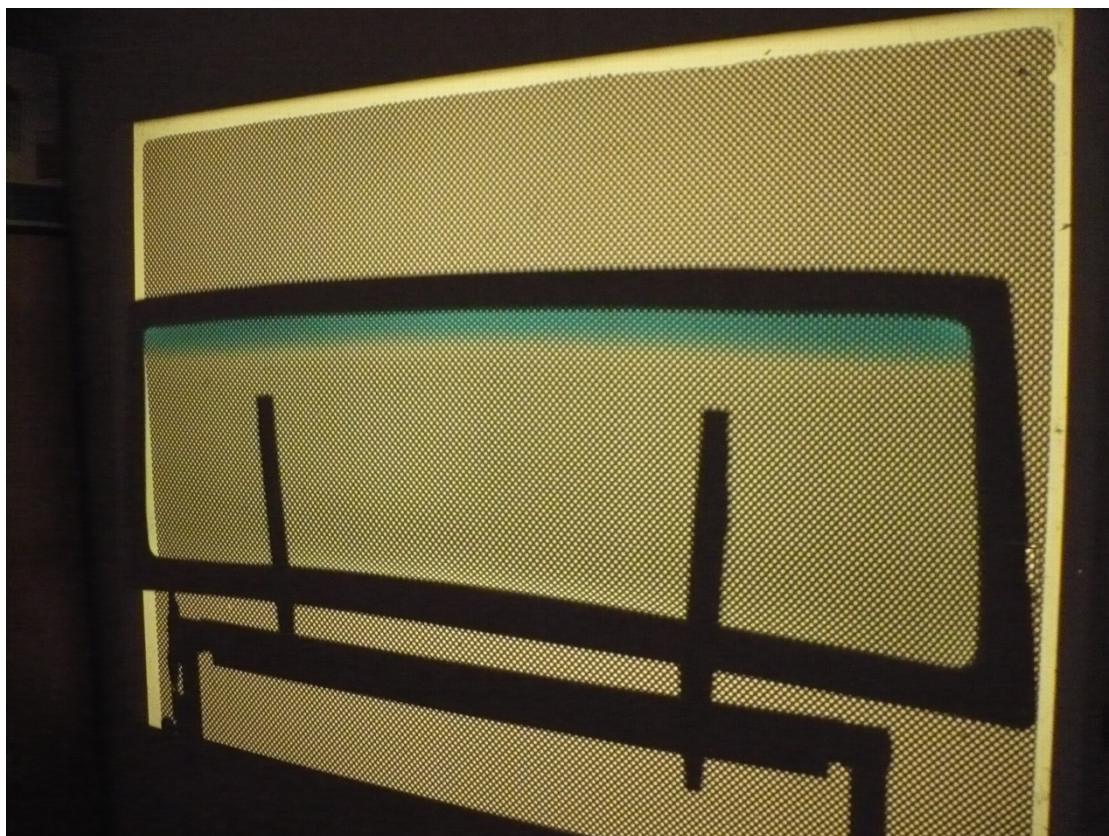
Obr. 26 Detail vzorku č. 1.



Obr. 27 vzorek č. II.



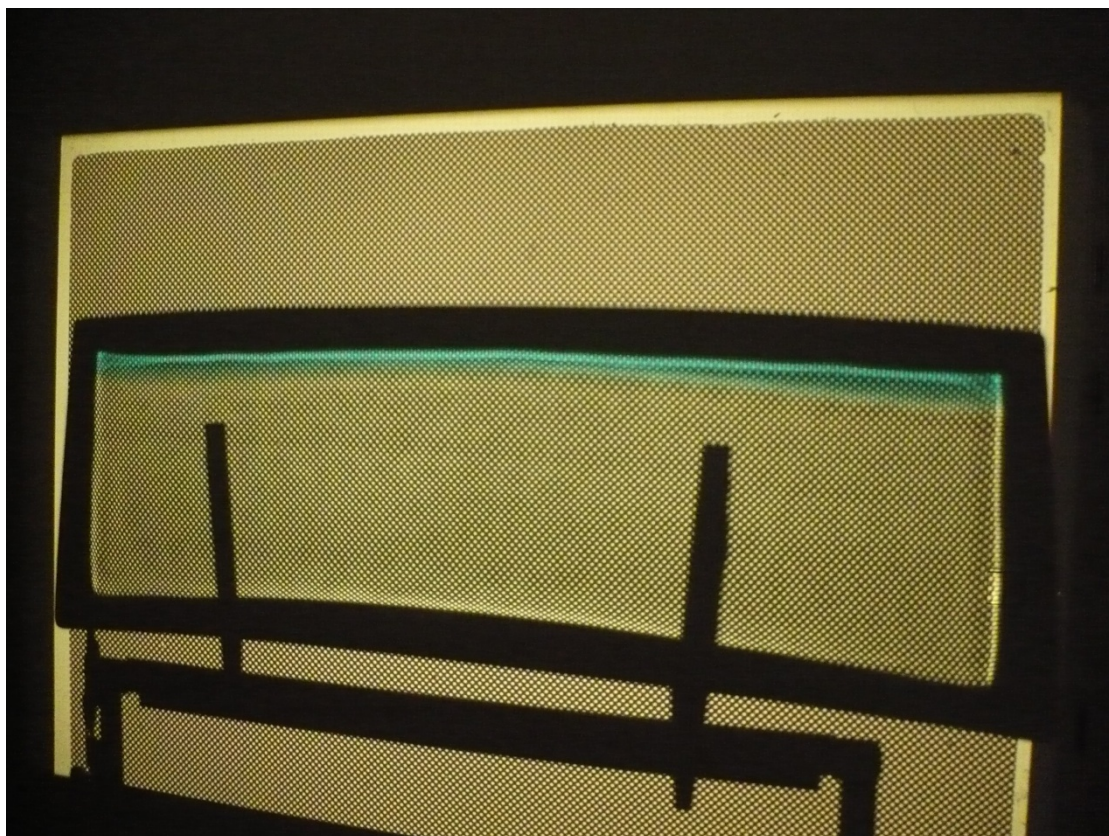
Obr. 28 Detail vzorku č. II.



Obr. 29 vzorek č. III.



Obr. 30 Detail vzorku č. III.

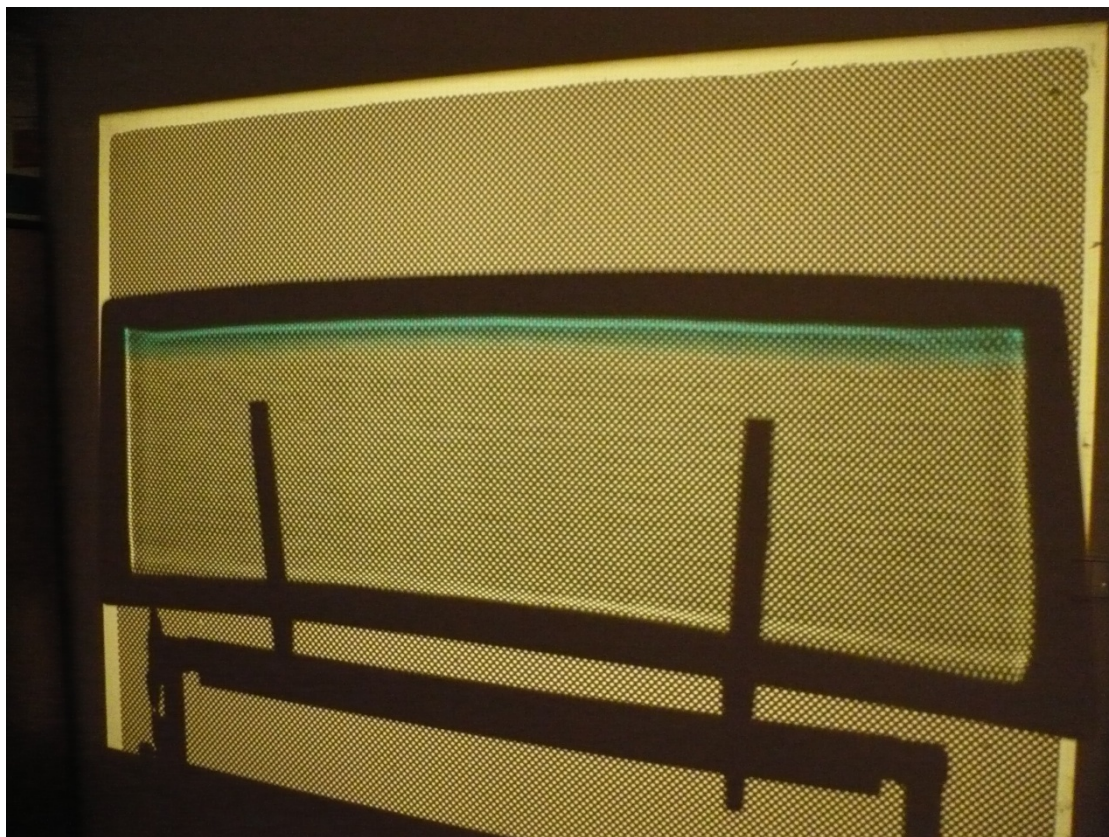


Obr. 31 Vzorek č. IV.

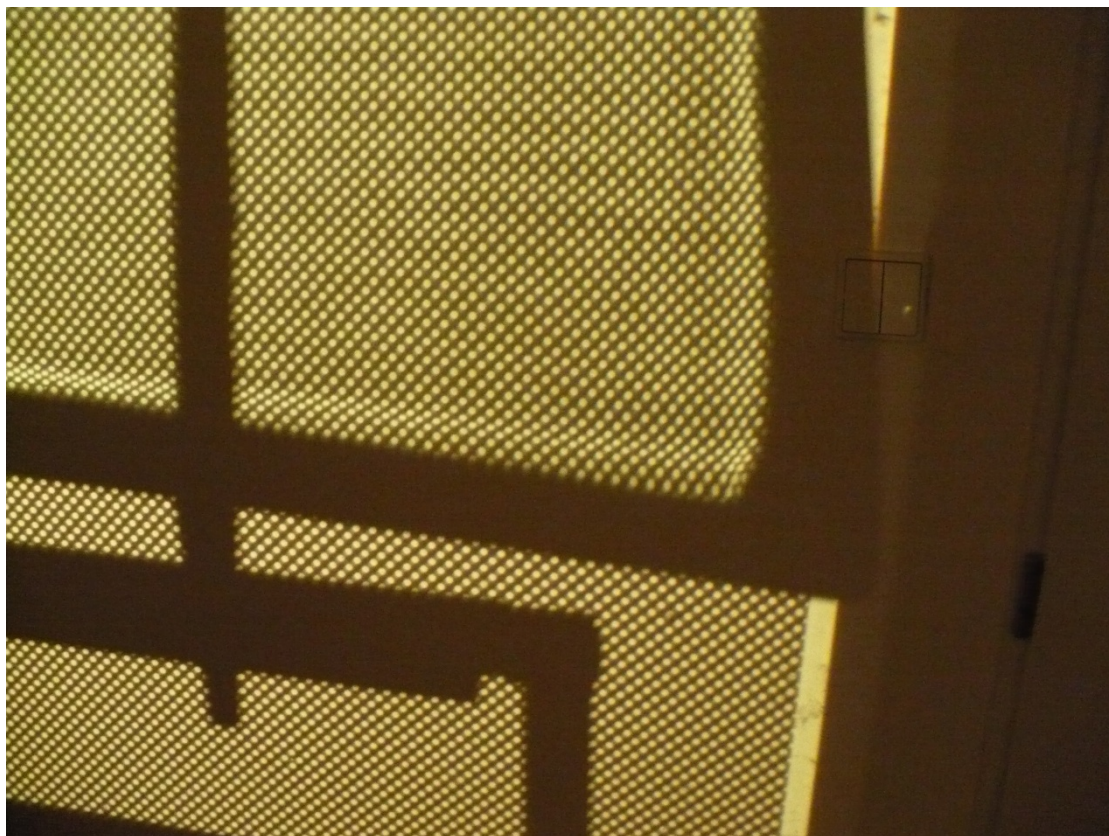


Obr. 32 Detail vzorku č. IV.

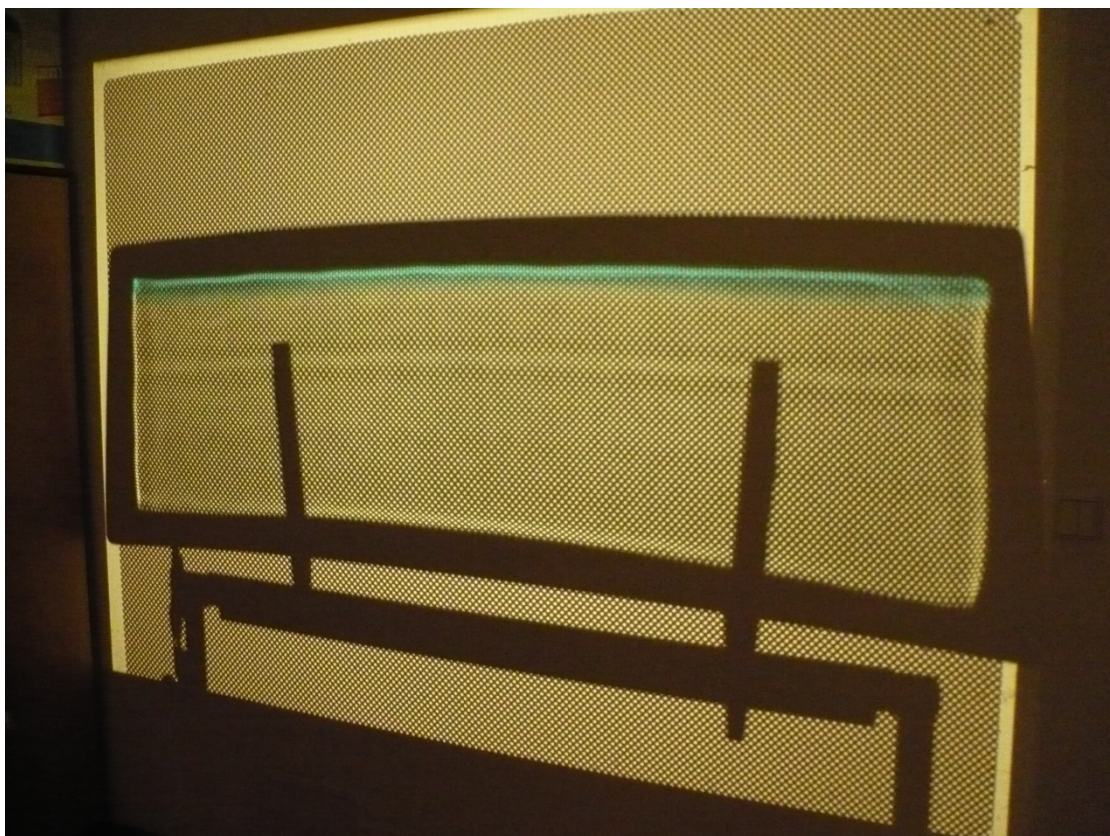
Vzorky čelních skel bez PC



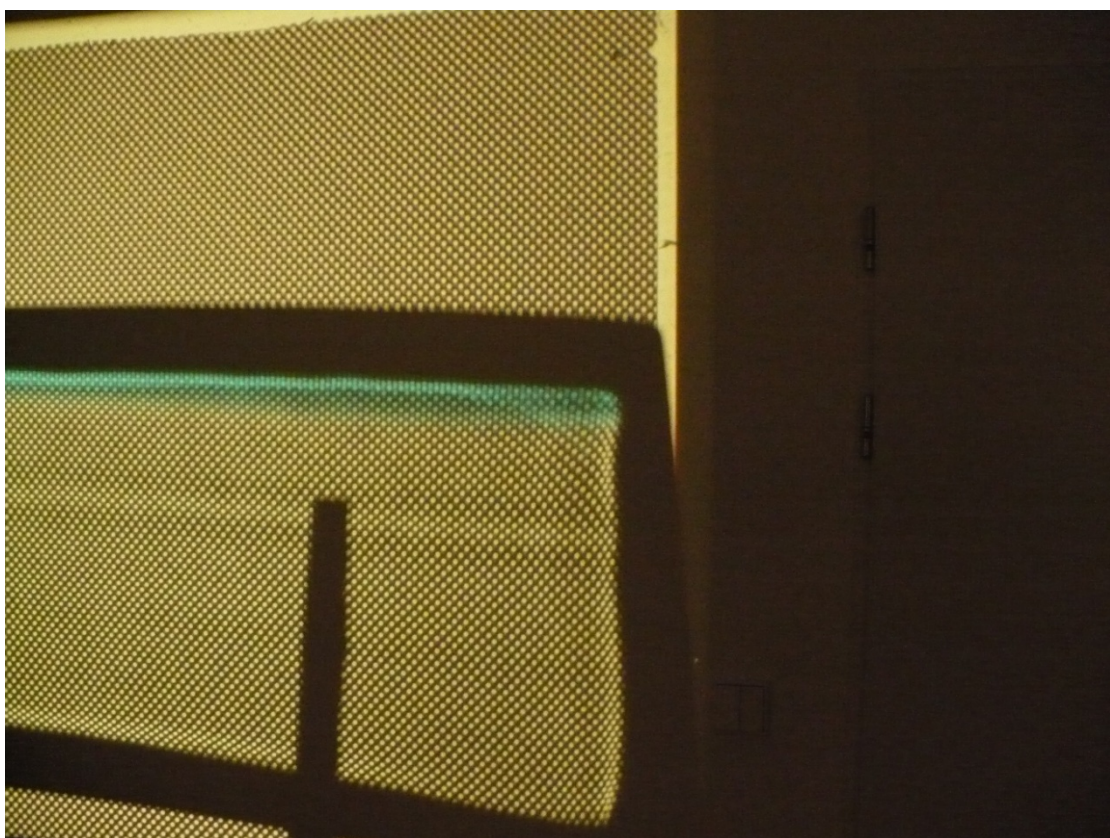
Obr. 33 Vzorek č. I.



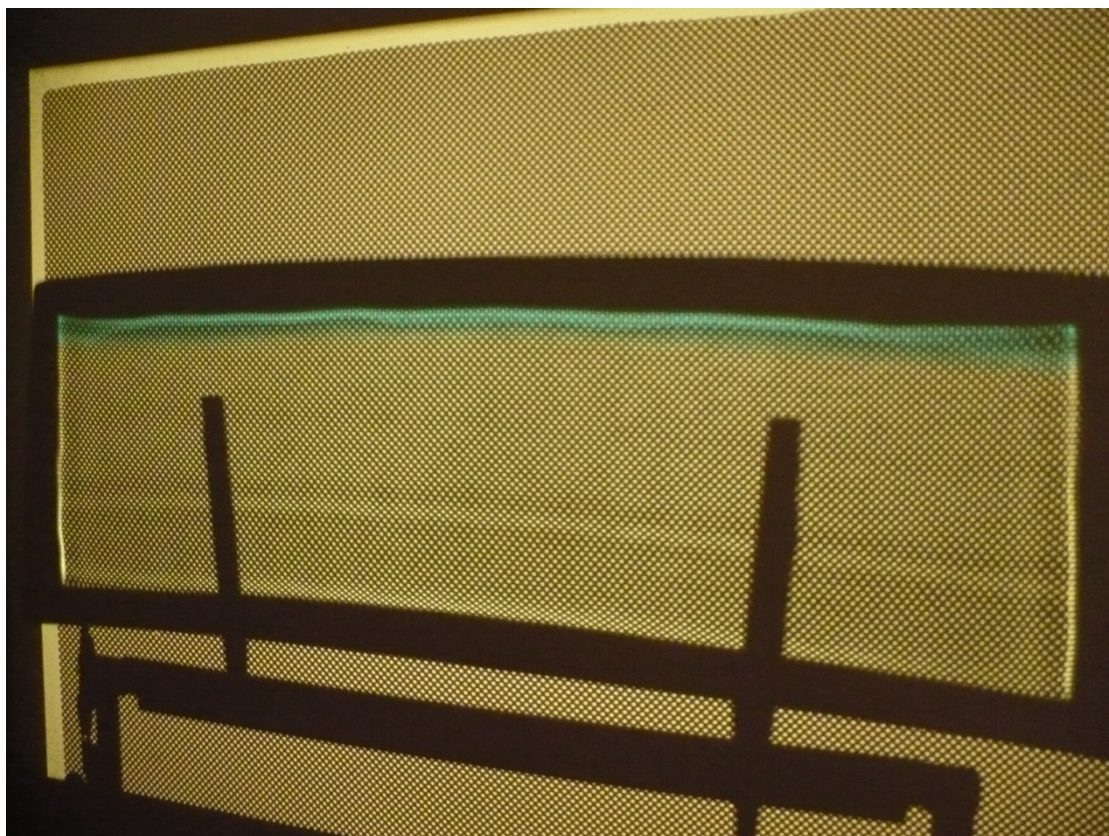
Obr. 34 Detail vzorku č. I.



Obr. 35 Vzorek č. II.



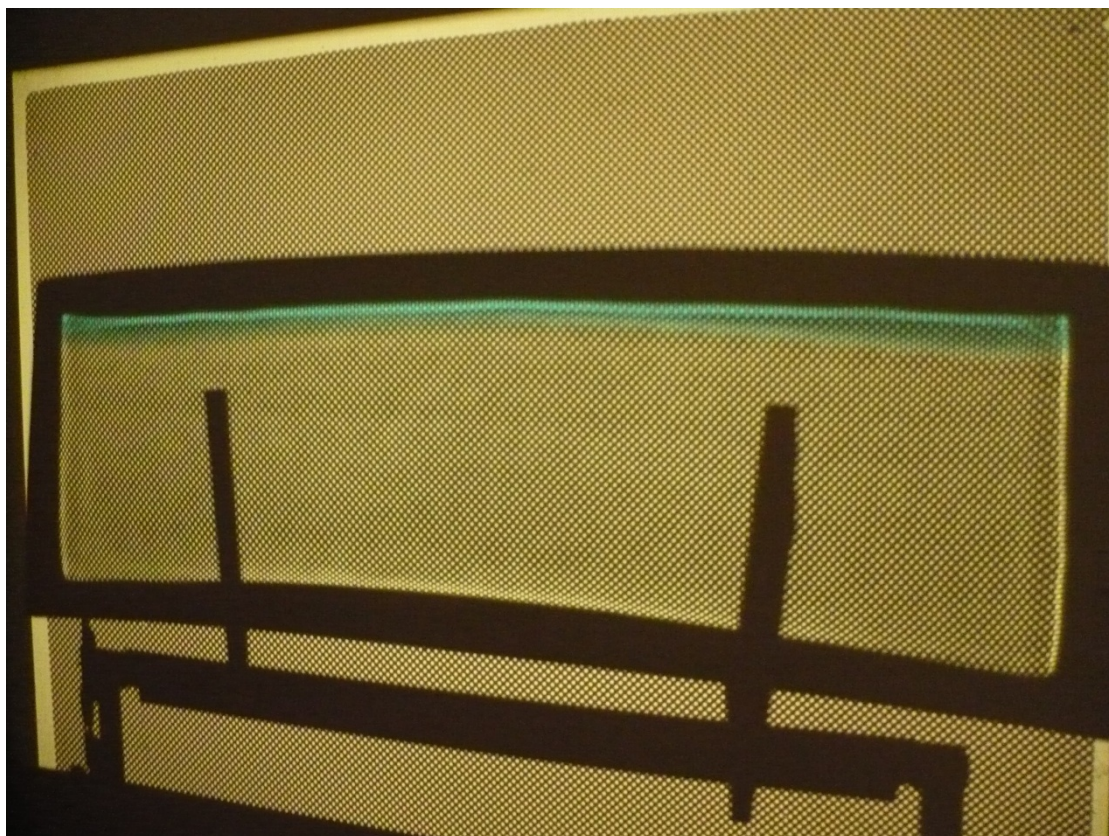
Obr. 36 Detail vzorku č. II.



Obr. 37 Vzorek č. III.



Obr. 38 Detail vzorku č. III.



Obr. 39 Vzorek č. IV.



Obr. 40 Detail vzorku č. IV.

Seznam obrázků

	Strana
Obr. 1 Schéma základních úhlů popisujících geometrii interakce projektilu s rovinným terčem	3
Obr. 2 Schéma stanovení penetrace při kolmém dopadu projektilu	3
Obr. 3 Schéma perforace rovinného terče při kolmém dopadu projektilu L_r označuje délku projektilu po perforaci terče a M_r jeho hmotnost	4
Obr. 4 Nákres zkušební vzorku pro balistickou zkoušku dle EN 1063	7
Obr. 5 Zkouška balistické odolnosti vůči průstřelu dle EN 1063 pro vzorek s balistickou odolností BR4	7
Obr. 6 Uložení terče do stojanu při střeleckých zkouškách	8
Obr. 7 Radiogram zkoušek defektoskopie válcového bloku	8
Obr. 8 Příklad vrstveného skla s třídou ochrany BR2	11
Obr. 9 Příklad PVB folie – vrstveného skla	11
Obr. 10 Detail řezu vrstveného skla vodním paprskem	16
Obr. 11 Závislost adheze na přítomnosti vody v PVB folii, na čistotě povrchu skel a na kvalitě (tvrdosti~vodivosti)vody užívané k mytí skel	18
Obr. 12 Závislost míry adheze na vodivosti vody používané k mytí.	19
Obr. 13 Stanovení V-bodů pro úhel opěradla sedadla 25°	28
Obr. 14 Plocha výhledu A	29
Obr. 15 Plocha výhledu B	29
Obr. 16 Optické zkreslení ve směru MM'	31
Obr. 17 Optické uspořádání promítacího zařízení	32
Obr. 18 Zvětšená část diapozitivu	32
Obr. 19 Uspořádání přístroje pro zkoušku optického zkreslení	33
Obr. 20 Provedení vhodné kontrolní šablony	33
Obr. 21 diaprotektor MEDIREX H 76119 F 100	45
Obr. 22 Stojan na čelní skla a sklonoměr DL -100	45
Obr. 23 Měrka přibližného optického zkreslení	46
Obr. 24 Laserová měrka síly jednotlivých vrstev sendvičového skla MERLIN	46
Obr I. Technický výkres čelního skla Toyota LC 100 s třídou ochrany BR6	47
Obr II. Čelní sklo Toyoty LC 100 s plochou A a B	48
Obr III Čelní sklo Toyota LC 100 s body měření tloušťky	59
Obr IV. Originální čelní sklo Toyoty LC 100	50
Obr. 25 vzorek č. I	51
Obr. 26 Detail vzorku č. I	51
Obr. 27 vzorek č. II	52
Obr. 28 Detail vzorku č. II	52
Obr. 29 vzorek č. III	53
Obr. 30 Detail vzorku č. III	53
Obr. 31 vzorek č. IV	54
Obr. 32 Detail vzorku č. IV	54
Obr. 33 vzorek č. I	55
Obr. 34 Detail vzorku č. I	55
Obr. 35 vzorek č. II	56
Obr. 36 Detail vzorku č. II	56
Obr. 37 vzorek č. III	57
Obr. 38 Detail vzorku č. III	57
Obr. 39 vzorek č. IV	58
Obr. 40 Detail vzorku č. IV	58

Seznam tabulek

	Strana
Tab. 1 Klasifikace úrovně odolnosti proti průstřelu dle normy EN 1063	5
Tab. 2 Klasifikace úrovně odolnosti proti průstřelu dle STANAG 4569	6
Tab. 3 Síla vrstveného skla/ třída balistické odolnosti dle EN 1063	12
Tab. 4 Síla tabule skla/plošná hustota	12
Tab. 5 Charakteristika PVB folie	13
Tab. 6 Fyzikální vlastnosti PU	14
Tab. 7 Fyzikální vlastnosti PC	14
Tab. 8 Základní souřadnice pro konstrukční úhel sklonu opěradla 25°	27
Tab. 9 Výsledky optického zkreslení	36
Tab. 10 Tloušťka jednotlivých vzorků v různých bodech (příloha 3 obr III)	37

Seznam použitých symbolů

D	maximální průměr projektilu
$DOP_{NAMĚŘ}$	skutečná naměřená rychlost střely
L	délka projektilu
L_0	délka symetrického projektilu
T_t	tloušťka terče
$v; DOP$	rychlost střely
V_0	dopadová rychlost na rovinný terč
V_{DOP}	rychlost dopadu střely
V_{lim}	balistická mez
$\tau V, T$	optická propustnost

Seznam použité literatury

- [1.] Prof. Ing. Jaroslav Buchar, DrSc., RNDr. Josef Oldřich, CSc. *Termální balistika*. Praha: nakladatelství Academia, 2003. ISBN 80-200-1222-2
- [2.] ČSN EN 1063. *Dokumentace zkoušení a klasifikace odolnosti proti střelám*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 10 s.
- [3.] VLK, František. *Karosérie motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9
- [4.] *SVOS s.r.o. pancéřová vozidla* [online]. 2000- [cit. 2006-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.armsvos.cz>>.
- [5] ŠOURKOVÁ, Pavla. *Zpráva výroby a výzkumu za rok 2006*. [s.l.], 2006. 62 s.
- [6] *Směrnice Rady (89/173/EHS): o sbližování právních předpisů členských států týkajících se určitých konstrukčních částí a vlastností kolových zemědělských a lesnických traktorů*. [s.l.] : Rada evropské unie, 1988. 118 s.
- [7] LEDERER, J. *Bezpečnostní sklo vrstvené*. [s.l.] : [s.n.], 1995. 55 s.
- [8] ČERNÝ, Josef. *Skla silničních vozidel*. Praha : NADATUR, 1995. 44 s.
- [9] *NÁVRH NA VÝVOJ GLOBÁLNÍHO TECHNICKÉHO PŘEDPISU (GTR) PRO* [online]. c2007 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://predpisy.tuv-sud.cz/novinky/glazing.pdf>>.
- [10] *STANAG 4569* [online]. c2000- 22007 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <http://www.generalarmour.com/pagesGA/protectionlevel.htm>.