



STATICKÝ VÝPOČET ZASKLENÍ

Nový pavilón Goril - ZOO Praha

Objednatel: **ABM architekti s.r.o.** Masarykovo nábř. 239/22 110 00 Praha 1
tel.: 222 221 333, abm@abmarch.cz, www.abmarch.cz

Dodavatel: **Ing. Miroslav Sázkovský** – Specialista na sklo ve stavebnictví
Tolstého 20, 61600 Brno – Žabovřesky
IČO: 74723821; DIČ CZ7912122856

web: www.sazovsky.cz,
tel.: +420 725 888 927
email: kancelar@sazovsky.cz

Datum: červen 2018

Normy a předpisy:

- EN 572-1 až 9 - Sklo ve stavebnictví - Základní výrobky ze sodnovápenatokřemičitého skla
- EN 1288-1 až 5 - Sklo ve stavebnictví - Stanovení pevnosti skla v ohybu
- EN ISO 12543-1 až 6 - Sklo ve stavebnictví - Vrstvené sklo a vrstvené bezpečnostní sklo
- EN 12150-1 - Sklo ve stavebnictví - Tepelně tvrzené sodnovápenatokřemičité bezpečnostní sklo
- EN 1279-1 až 6 - Sklo ve stavebnictví - izolační sklo
- EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- prEN 13474-1 až 3 - Glass in building - Design of glass panels
- DIN 18008-1 až 5 - Glass in Building - Design and construction rules
- DiBt: TRAV – Technická pravidla pro navrhování bezpečnostního skla
- ČSN 743305 (2017) – Ochranná zábradlí
- Manuál software SJ-MEPLA, Dlubal Software, FIN CE

Zadání:

Předmětem posouzení je návrh zasklení v ZOO Praha na nový pavilon goril a okolních otvorů nebo dělících příček. Dále je součástí posouzení návrh složení izolačního skla na světlík.

Zatížení:

Kromě oblastí, kde se nacházejí gorily jsou skla navržena na běžné účinky zatížení, kterému musí odolat sklo při pohybu lidí. Ve všech případech, kde mají skla ochranou funkci před opicemi se vychází a z panického chování opic.

Pro potřeby výpočtu jsem vycházel z předpokladu, že 180 kg gorila je schopná vyvinout rychlost 20 km/h. Pokud by v této rychlosti narazila do skla, tak její energie bude rovna:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{180 \cdot (20/3,6)^2}{2} = 2,778 \text{ J}$$

Aby mohlo dojít k numerické simulaci vzniku nárazu měkkého tělesa o energii 2,778 J, vypočítal jsem, že 50 kg normové těleso dle ČSN EN 12600, musí do skla narazit z výšky 5,6 m.

$$h = \frac{E}{M \cdot g} = \frac{2778}{500} = 5,6 \text{ m}$$

Zatížení na světlík jsme získal od objednatele:

- Sněhová oblast, plochá střecha, 56 kg/m²
- Zatížení od údržby 75 kg/m² nebo 1 kN
- Zatížení na stěny a otvory: I. větrová oblast, kat. terénu II – rozlehlá krajina, výška do 10m, q_p=0,75kPa
- Liniové zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 je uvažováno 1.0 kN/m.

Hloubka uložení skla do rámu - gorily:

Pro zasklení u goril, kde hrozí vznik nárazu dospělého samce do skla doporučuji, aby skla byla uložena minimálně 35 mm do nosného rámu, který může být tvořen pomocí dvou L-profilů. Za předpokladu dodržení základních zasklívacích podmínek.

Rozměry pro výpočet

Gorily

Ze zkušeností zoo a samotného specialisty na sklo se pro zasklení do výběhů goril používá složení skla 3 x 10 mm. Proto jsme pro výpočet zvolil největší rozměry a ty tabule skla, které mají nejnepříznivější tvar nebo způsob uložení.

Jedná se o zasklení

- O8.3 – po třech stranách uložené sklo 2500 x 2500 mm,
- O8.5 – Po třech stranách uložené sklo, kdy jedna delší strana je nepodepřená o rozměrech 1850 x 4000 mm
- O6.6, kde je vychází sklo uložené jen dole a nahoře o rozměru 1930 x 3300 mm

Světlík

Výpočet skla vychází především ze zatížení při údržbě, kdy dochází k bodovému zatížení. Byl proveden i výpočet zatížení sněhem a vlastní hmotností, aby se prověřilo, jak se sklo bude chovat v zimním období, kdy dochází ke vzniku podtlaku v dutině skla. Přestože způsob vytápění nebyl definován, tak bylo pro jistotu ve výpočtu počítáno se situací, kdy dojde ke vzniku nevytápěného prostoru (promrznutí interiéru).

Vypočítaná složení skla (doporučení – použít folii PVB strong, EVAGUARD nebo Saflex DG)

Označení	Rozměr [mm]	složení	Zvíře
O2.1	2000 x 800	VSG 101010.44	Gorila
O2.2	2000 x 1000	VSG 101010.44	Gorila
O2.3	2000 x 2100	VSG 101010.44	Gorila
O2.4	2500 x 1000	IZO: 6 / 16 Ar / VSG 88.4	kočkodan
O2.5	2000 x 1000	IZO: 6 / 16 Ar / VSG 88.4	gueréz
O6.1	3150 x 2600	VSG 88.2	Luskoun
O6.2	3700 x 2600	VSG 1010.4	Malé opice
O6.3	2 x 1640 x 3200	VSG 101010.44	Gorila
O6.4	4 x 2255 x 3200	VSG 10101010.444	Gorila
O6.5	2025 x 3200	VSG 101010.44	Gorila
O6.6	4 x 2300 x 3200	VSG 10101010.444	Gorila
O6.7	3 x 2210 x 3200	VSG 10101010.444	Gorila
O6.8	2 x 1735 x 3200	VSG 10101010.444	Gorila
O6.9	3 x 2666 x 3200	VSG 10101010.444	Gorila
O6.10	3000 x 1500	VSG 66.2	Řekomyš
O7.1	800 x 1000	VSG 101010.44	Gorila
O7.2	1000 x 1000	VSG 101010.44	Gorila
O8.1	2500 x 2500	VSG 101010.44	Gorila
O8.2	2000 x 2500	VSG 101010.44	Gorila
O8.3	2500 x 2500	VSG 101010.44	Gorila

O8.4	2000 x 2000	VSG 101010.44	Gorila
O8.5	2 x 1850 x 4000	VSG 10101010.444	Gorila
O8.6	2 x 2200 x 3800	VSG 101010.44	Gorila
O8.7	2 x 2935 x 3300	VSG 10101010.444	Gorila
O4.1	1200 x 2900	ESG-H 10 / 16 Ar / VSG 66.2	Světlík
O4.2	1200 x 2700	ESG-H 10 / 16 Ar / VSG 66.2	Světlík

Po domluvě s objednatelem bylo odsouhlaseno, že exteriérová skla, která jsou označená jako O8.1, O8.2, O8.3 budou mít horní hranu volnou, ale ostatní O8.5 až O8.8 budou na horní hraně opatřena rámem.

U zasklení světlíků bylo dohodnuto, že horní exteriérové sklo bude provedeno jako 10 mm tepelně tvrzené sklo, které bude opatřeno HST zkouškou a doplněno o návod k užívání při údržbě. V případě použití tepelně tvrzeného skla určeného k pohybu osob nesmí být nikdo přítomen pod sklem (pod konstrukcí světlíku v místech, kde se provádí údržba. V případě rozbití tepelně tvrzeného skla musí spodní tabule skla zajistit veškerou únosnost, a to nejen statickou, ale i dynamickou (propadnutí člověka nebo sněhu). Z tohoto důvodu je potřeba provádět pravidelné vizuální kontroly stavu povrchu tepelně tvrzeného skla a postupovat podle návodu na údržbu a čištění.

U zasklení světlíků doporučuji pro vnitřní tabuli vrstveného skla využít některé z kvalitních meziskelních folií jako je PVB strong, EVAGUARD nebo Saflex DG. Tyto folie zvyšují bezpečnost a únosnost vrstveného skla.

Protokoly z jednotlivých výpočtů jsou v příloze posudku.

Závěr:

Skla jsou navržena tak, aby odpovídala očekávání, bezpečnosti, funkčnosti a ekonomicky udržitelné životnosti jednotlivých pozic, ve kterých jsou umístěná.

Výpočtem simulace nárazu gorily bylo prověřeno, že i třístranné uložení skla nebo dvoustranné uložení skla vyhoví a při nárazu gorily vážící 180 kg a běžící rychlostí 20 km/h sklo nepraskne.

Skla na světlíku jsou z horní strany tepelně tvrzená, proto v případě poruchy této tepelně tvrzené tabule skla dojde k jejímu kompletnímu zřícení (ztráta celistvosti a stability) a je zapotřebí brát na vědomí, že střepy mohou padat ze střechy dolů a sesypou se do dutiny izolačního skla, které v tu chvíli není celé a kompletní a je nutné zajistit prostor pod zasklením a zamezit přístup lidem a zvířatům do oblasti, kam by se mohlo sklo zřítit. Z tohoto důvodu nesmí být v době údržby nikdy pod zasklením, kde se pohybuje vyškolený pracovník.

Je důležité zmínit, že sklo je křehký materiál a v případě vzniku jakéhokoliv poškození – vzniku lomu, uštipnutí hrany nebo rohu skla je nutné provést odborné vyhodnocení zbytkové únosnosti a bezpečnosti skla.

Address:

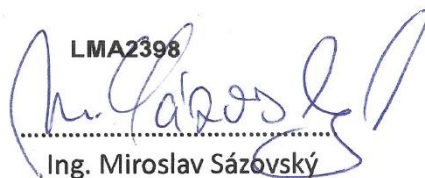
Tolstého 20; 61600 Brno

Tel.: +420 725 888 927

Email: kancelar@sazovsky.cz

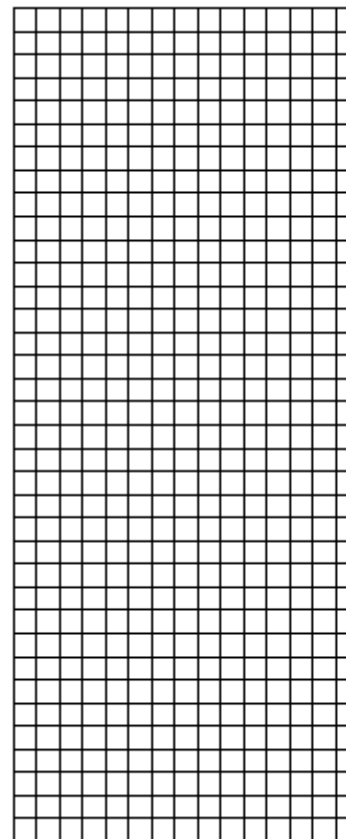
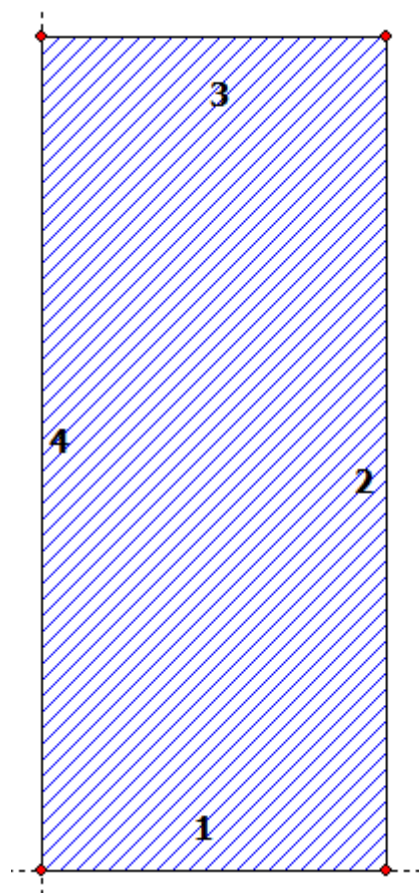
Brno 11.06.2018, doplnění 4.7.2018



LMA2398

Ing. Miroslav Sázovský



SJ MEPLA Výpočtový protokol:



Geometrie:

Okraj	Okrajový bod		Střed oblouku		Směr otáčení
	mm	mm	mm	mm	+/-
1	0.00	0.00			
2	1200.00	0.00			



3	1200.00	2900.00
4	0.00	2900.00

Uložení:

Okrajové uložení:

Okraj	Typ podpěry	
1	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
2	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
3	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
4	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)

Distanční držák v izolačním skle:

Okraj	Modul E N/mm ²	Modul G N/mm ²	Šířka mm
1	100.00	0.00	5.00
2	100.00	0.00	5.00
3	100.00	0.00	5.00
4	100.00	0.00	5.00

Uložení pružiny:

Balík	Vrstva	x mm	y mm	z mm	C _x N/mm	C _y N/mm	C _z N/mm	C _{ϕ} Nmm	C _{θ} Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1200.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
2	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
2	1	1200.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Vrstvy:

Skladba vrstvy:

Balík	Vrstva	Popis
2	1	Glass, heat toughened
1	3	Float glass
1	2	PVB 22 C° loading until 3 min
1	1	Float glass

Charakteristické parametry:



Balík	Vrstva	mod. E N/mm ²	ν	Tloušťka mm	Hustota kg/m ³	α_t 1/K	ΔT K
2	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Meziprostor tabulí:

Balík	Tloušťka mm	Vnit. tlak N/mm ²	ΔT K	γ 1/K
od_po				
1_2	16.00	1.01000e-01	0.00	3.41100e-03

Vnější tlak:

Tlak N/mm ²	ΔH (Výškový rozdíl) m
1.01000e-01	0.0 (= 1.01000e-01 N/mm ²)

Zátěže:

Plošné zátěže:

- konstantně rozděleno:

Balík	tlak N/mm ²
2	0.00000e+00
1	-6.00000e-04

Vlastní hmotnost:

Úhel sklonu tabule: 0.00° stupňů

Směrový vektor tíhového zemského zrychlení [9.81 m/s²]:

Vx	Vy	Vz
0.00000	0.00000	-1.00000

Postup výpočtu:

geometricky nelineární (nasazení velkých napříč k rovině desky)

statický výpočet

Distanční držák v izolačním skle s lineárním chováním na tlak a tah



Parametry konečné sítě prvku:

Velikost prvku	:	80.0 mm
Počet prvků	:	540
Počet uzlů	:	2263 (na balík)
Počet neznámých	:	31274

Výsledek výpočtu:

Minimální a maximální deformace w:

Balík	- Pozice --		Deformace
	x	y	w
	mm	mm	mm
2	600.00	1450.00	-2.08 (min)
	0.00	0.00	0.00 (max)
1	600.00	1450.00	-2.11 (min)
	0.00	0.00	0.00 (max)

Maximální napnutí hlavního tahu:

Balík	Vrstva	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
2	1 (nahore)	9.02	2828.52	2.31	5.21
	(dole)	600.00	1459.08	5.21	
1	3 (nahore)	9.02	9.08	1.72	1.77
	(dole)	40.00	71.48	1.77	
1	1 (nahore)	9.02	9.08	1.70	4.71
	(dole)	600.00	1440.92	4.71	

Pnutí v distančním držáku:

Okraj	Mezipr. tab.	x	y	σ
		mm	mm	N/mm ²
				(Szz) -----
1	1	9.02	0.00	0.000 (max)
	1	9.02	0.00	0.000 (min)
				(Szz) -----
2	1	1200.00	9.08	0.000 (max)
	1	1200.00	9.08	0.000 (min)
				(Szz) -----



3	1	1190.98	2900.00	0.000 (max)
	1	1190.98	2900.00	0.000 (min)
----- (Szz) -----				
4	1	0.00	9.08	0.000 (max)
	1	0.00	9.08	0.000 (min)

Meziprostor tabulí:

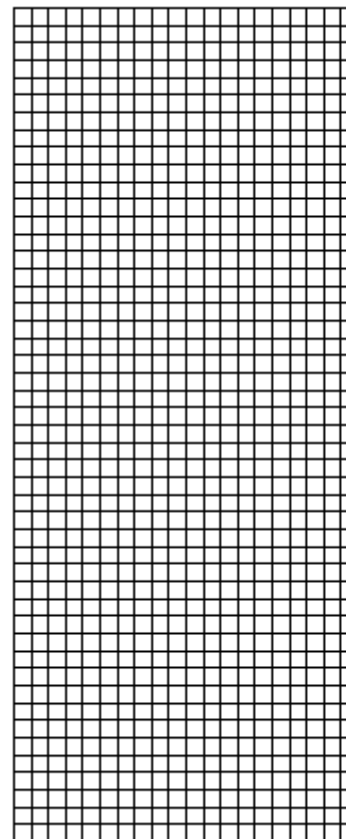
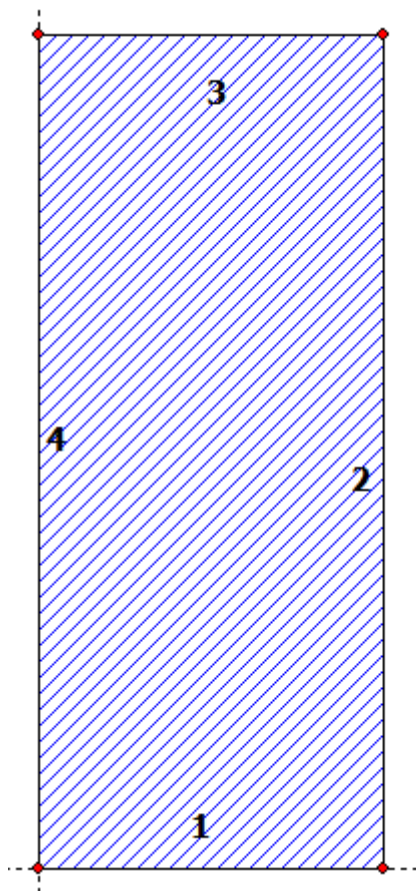
Balík	Vnitřní tlak
od_po	N/mm ²
1 2	1.00704373e-01

Pružiny:

Balík	Vrstva	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _φ	M _θ
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1 1		0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(1200.00 / 0.00)											
1 1		0.00	-0.00	0.00	-0.0000	0.0000	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00
(0.00 / 0.00)											
2 1		0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(1200.00 / 0.00)											
2 1		-0.00	-0.00	0.00	-0.0000	0.0000	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00



SJ MEPLA Výpočtový protokol:



Geometrie:

Okraj	Okrajový bod		Střed oblouku		Směr otáčení
	mm	mm	mm	mm	+/-
1	0.00	0.00			
2	1200.00	0.00			



3	1200.00	2900.00
4	0.00	2900.00

Uložení:

Okrajové uložení:

Okraj	Typ podpěry	
1	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
2	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
3	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
4	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)

Distanční držák v izolačním skle:

Okraj	Modul E N/mm ²	Modul G N/mm ²	Šířka mm
1	100.00	0.00	5.00
2	100.00	0.00	5.00
3	100.00	0.00	5.00
4	100.00	0.00	5.00

Uložení pružiny:

Balík	Vrstva	x mm	y mm	z mm	C _x N/mm	C _y N/mm	C _z N/mm	C _{ϕ} Nmm	C _{θ} Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1200.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
2	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
2	1	1200.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Vrstvy:

Skladba vrstvy:

Balík	Vrstva	Popis
2	1	Glass, heat toughened
1	3	Float glass
1	2	PVB 22 C° loading until 3 min
1	1	Float glass

Charakteristické parametry:



Balík	Vrstva	mod. E N/mm ²	ν	Tloušťka mm	Hustota kg/m ³	α_t 1/K	ΔT K
2	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Meziprostor tabulí:

Balík	Tloušťka mm	Vnit. tlak N/mm ²	ΔT K	γ 1/K
od_po				
1_2	16.00	1.01000e-01	0.00	3.41100e-03

Vnější tlak:

Tlak N/mm ²	ΔH (Výškový rozdíl) m	
1.01000e-01	0.0	(= 1.01000e-01 N/mm ²)

Zátěže:

Koncentrované zátěže:

Balík	x mm	y mm	Fx N	Fy N	Fz N	lx mm	ly mm
2	600.00	1450.00	0.00	0.00	-1500.00	50.00	50.00

Plošné zátěže:

- konstantně rozděleno:

Balík	tlak N/mm ²
2	0.00000e+00
1	0.00000e+00

Vlastní hmotnost:

Úhel sklonu tabule: 0.00° stupňů

Směrový vektor tíhového zemského zrychlení [9.81 m/s²]:

Vx	Vy	Vz
0.00000	0.00000	-1.00000



Postup výpočtu:

geometricky nelineární (nasazení velkých napříč k rovině desky)

statický výpočet

Distanční držák v izolačním skle s lineárním chováním na tlak a tah

Parametry konečné sítě prvku:

Velikost prvku : 60.0 mm
Počet prvků : 960
Počet uzlů : 3977 (na balík)
Počet neznámých : 55134

Výsledek výpočtu:

Minimální a maximální deformace w:

Balík	- Pozice -		Deformace
	x	y	w
	mm	mm	mm
2	600.00	1450.00	-4.97 (min)
	0.00	0.00	0.00 (max)
1	600.00	1450.00	-2.60 (min)
	0.00	0.00	0.00 (max)

Maximální napnutí hlavního tahu:

Balík	Vrstva			σ	σ (max)
		x	y	N/mm ²	N/mm ²
		mm	mm		
2	1 (nahore)	53.24	913.06	3.09	33.04
		606.76	1443.19	33.04	
1	3 (nahore)	6.76	53.61	2.12	2.24
		1146.76	2846.39	2.24	
1	1 (nahore)	6.76	6.81	2.06	5.82
		606.76	1443.19	5.82	

Pnutí v distančním držáku:

Okraj	Mezipr. tab.	x	y	σ
		mm	mm	N/mm ²
		----- (Szz) -----		
1	1	6.76	0.00	0.000 (max)



1	6.76	0.00	0.000 (min)
----- (Szz) -----			
2	1	1200.00	6.81 0.000 (max)
	1	1200.00	6.81 0.000 (min)
----- (Szz) -----			
3	1	1193.24	2900.00 0.000 (max)
	1	1193.24	2900.00 0.000 (min)
----- (Szz) -----			
4	1	0.00	6.81 0.000 (max)
	1	0.00	6.81 0.000 (min)

Meziprostor tabulí:

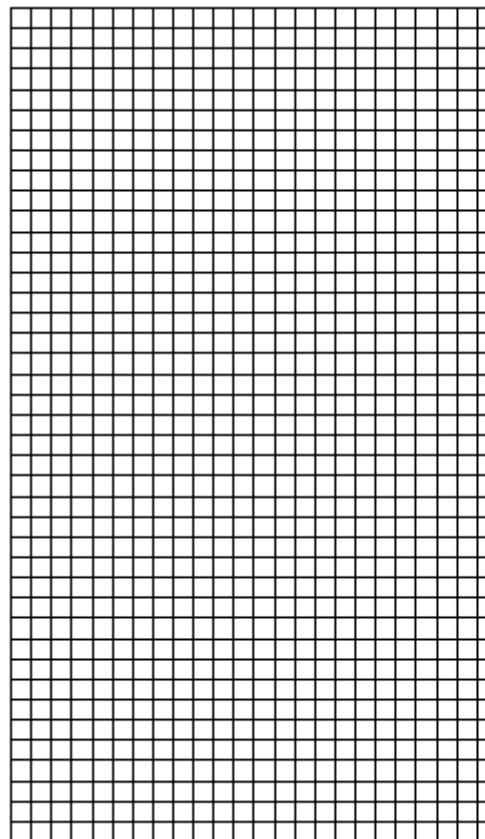
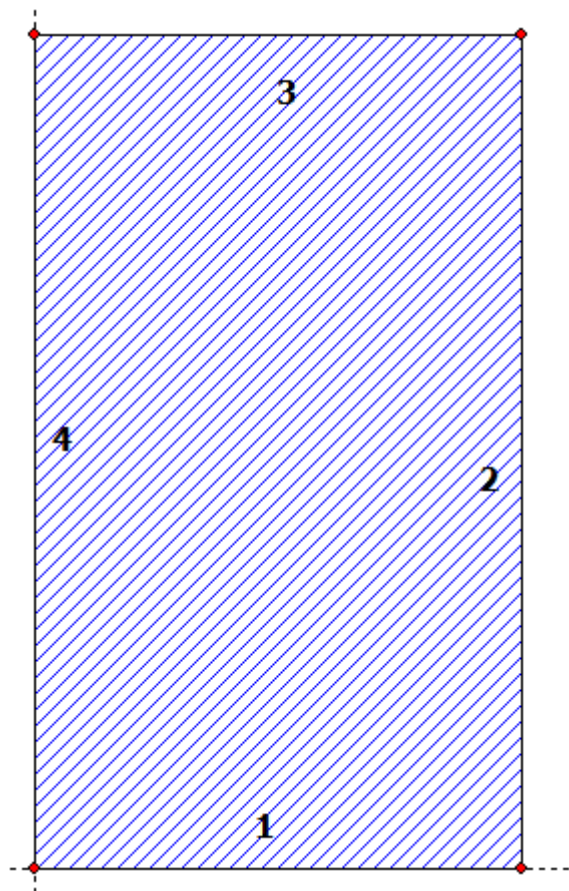
Balík	Vnitřní tlak
od_po	N/mm ²
1 2	1.01448133e-01

Pružiny:

Balík	Vrstva	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _φ	M _θ
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1 1		0.00	-0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
(1200.00 / 0.00)											
1 1		0.01	-0.00	0.00	-0.0000	0.0000	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00
(0.00 / 0.00)											
2 1		-0.00	-0.00	0.00	0.0000	0.0000	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
(1200.00 / 0.00)											
2 1		0.00	0.00	0.00	-0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00



SJ MEPLA Výpočtový protokol:



Geometrie:

Okraj	Okrajový bod		Střed oblouku		Směr otáčení
	mm	mm	mm	mm	+/-
1	0.00	0.00			
2	1930.00	0.00			



3	1930.00	3300.00
4	0.00	3300.00

Uložení:

Okrajové uložení:

Okraj	Typ podpěry	
1	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
3	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)

Uložení pružiny:

Balík	Vrstva	x	y	z	C _x	C _y	C _z	C _{ϕ}	C _{θ}
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1930.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Vrstvy:

Skladba vrstvy:

Balík	Vrstva	Popis
1	1	Float glass

Charakteristické parametry:

Balík	Vrstva	mod. E	ν	Tloušťka	Hustota	α_t	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	40.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Zátěže:

Plošné zátěže:

- konstantně rozděleno:

Balík	tlak
	N/mm ²
1	0.00000e+00

Výkyv: (na balík skleněných tabulí 1)



Bod úderu

x	y	Výška pádu
mm	mm	mm
250.00	1650.00	2800.0

Rychlost	Spouštěcí výška
mm/s	mm
-7411.88	14.08

Těleso kyvadla: (pneumatika dvojiho kola, DIN EN 12600)

Poloměr pneumatiky : 51 mm

Vnější poloměr : 194.5 mm

Tlak vzduchu : 3.5 - 4.0 bar

Hmotnost : 50.00 kg

Tuhost pneumatik: (zjištěno z pokusů)

nelineární charakteristika pružiny

$C = 300.0 + 2.0 * |dw|$ [N/mm]

Postup výpočtu:

geometricky nelineární (nasazení velkých napříč k rovině desky)

dynamický výpočet

Parametry konečné sítě prvků:

Velikost prvku : 80.0 mm

Počet prvků : 984

Počet uzlů : 4067 (na balík)

Počet neznámých : 20237

Extrémní hodnoty dynamického výpočtu: doba trvání 0.08000 [s]

Minimální a maximální deformace:

Balík	- pozice --		deformace
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	1930.00	1650.00	-49.05 (min)
	1930.00	1650.00	19.42 (max)



Maximální napnutí hlavního tahu:

Balík	Vrstva	x	y	σ
		mm	mm	N/mm ²
1	1	1920.94	1681.17	63.95

Kyvadlo:

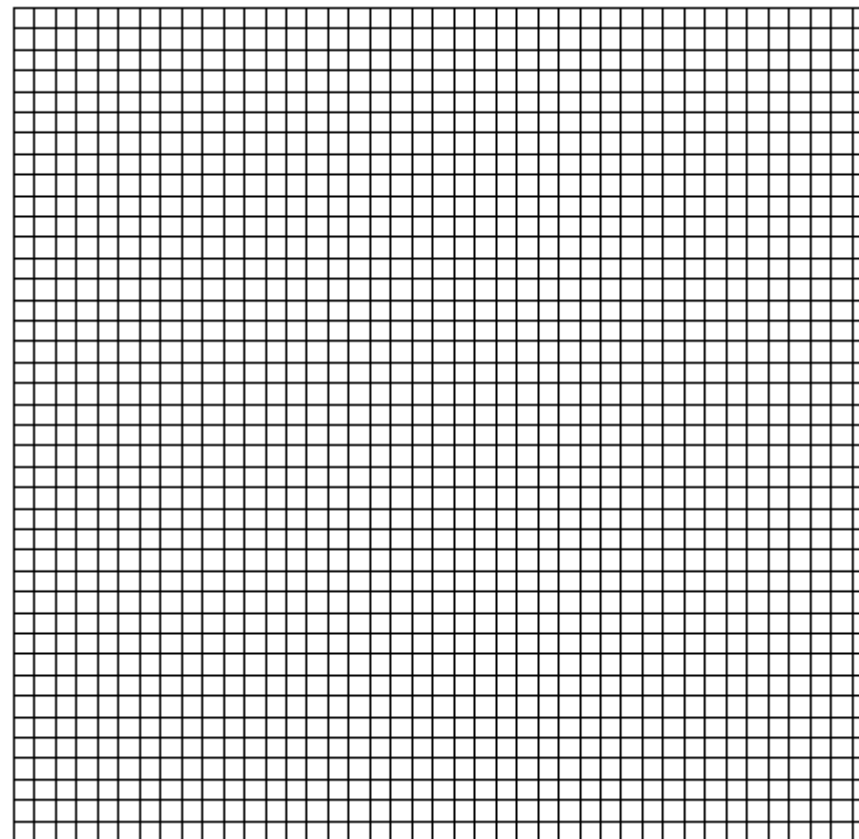
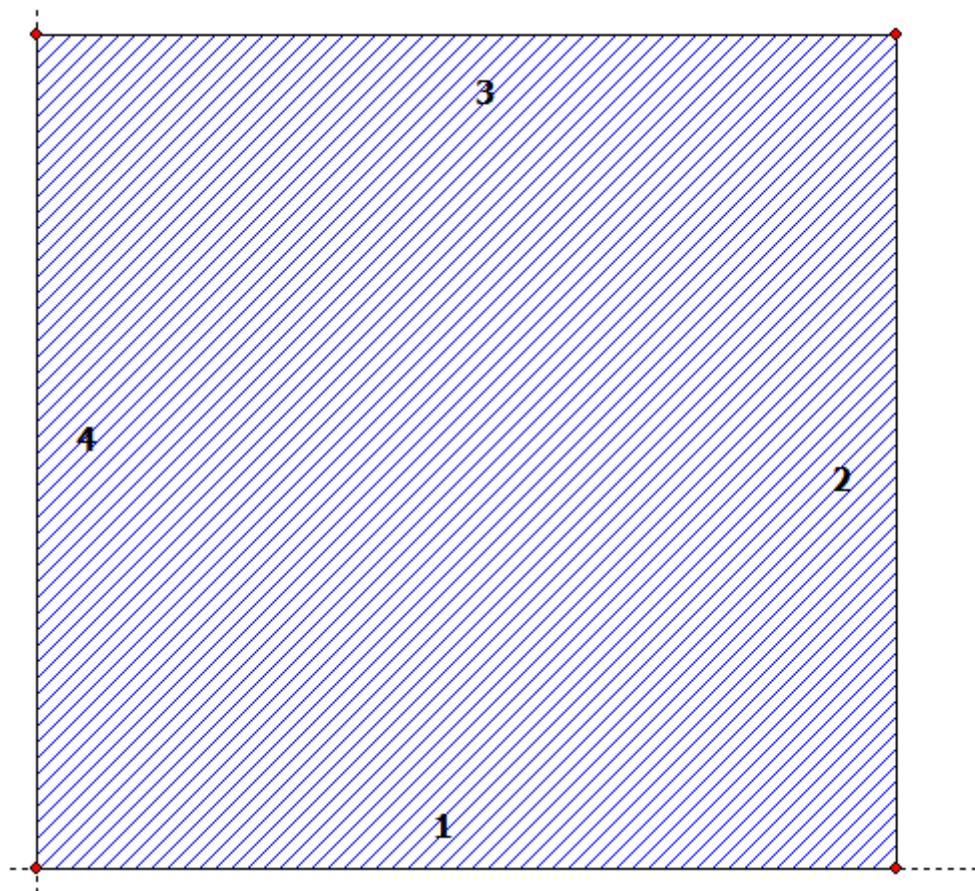
Síla	Akcel.	w (Bod nárazu)
N	m/s ²	mm
0.00	0.00	1.80 (max)
-31415.00	628.30	-34.50 (min)

Pružiny:

Balík	Vrstva	u	v	w	ϕ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{ϕ}	M _{θ}
		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(x: 0.00 y: 0.00)											
Maximum											
1	1	0.28	0.52	0.00	0.0002	0.0368	0.28	0.52	0.00	-0.00	0.00
Minimum											
1	1	-0.22	-0.01	0.00	-0.0004	-0.0002	-0.22	-0.01	0.00	-0.00	0.00
(x: 1930.00 y: 0.00)											
Maximum											
1	1	0.33	0.85	0.00	0.0004	0.0469	0.00	0.85	0.00	-0.00	-0.00
Minimum											
1	1	-0.18	-0.04	0.00	-0.0003	-0.0186	0.00	-0.04	0.00	-0.00	-0.00



SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint		Arccenter		Direction of rotation
	mm	mm	mm	mm	
1	0.00	0.00			+/-
2	3300.00	0.00			



3	3300.00	3200.00
4	0.00	3200.00

Supports:

Edge supports:

Edge	Type	of supports
1	w	: fixed - u, v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u, v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u, v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C _x	C _y	C _z	C _{ϕ}	C _{θ}
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	3300.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+00	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:

Layer order:

Package	Layer	Description
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	α_t	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	30.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	0.00000e+00



Pendulum impact: (acting onto glass package 1)

Point of impact

x	y	Drop height
mm	mm	mm
250.00	1600.00	2800.0

Velocity	Starting height
mm/s	mm
-7411.88	14.08

Pendulum body: (two pneumatic tyres, DIN EN 12600)

Tyre radius	: 51 mm
Outer radius	: 194.5 mm
Air pressure	: 3.5 - 4.0 bar
Weight	: 50.00 kg

Tyre-stiffness: (determined from tests)

non-linear spring rigidity

$$C = 300.0 + 2.0 * |dw| \quad [N/mm]$$

Calculation approaches:

small deflections, linear
dynamic calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 80.0 mm
Number of elements	: 1640
Number of nodes	: 6723 (per package)
Number of unknown	: 33370

Extreme values from dynamic calculation: duration 0.08000 [s]

Minimum und maximum displacements:

Package	- Position- Displacement		
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	1600.00	-63.76 (min)



2012.20 1600.00 19.72 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer	x mm	y mm	σ N/mm ²
1	1	9.07	1590.98	67.93

Pendulum:

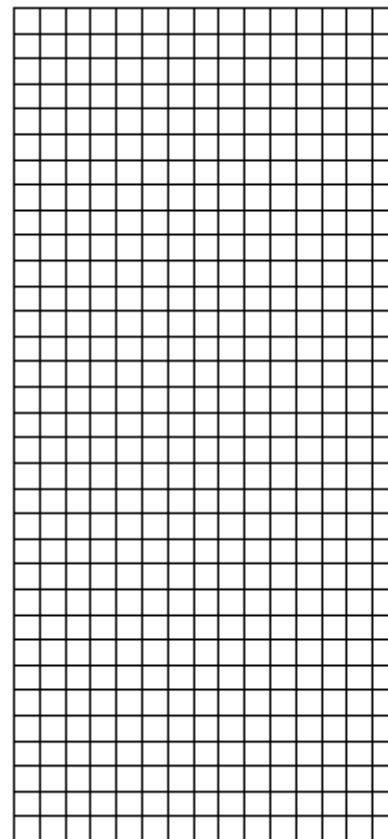
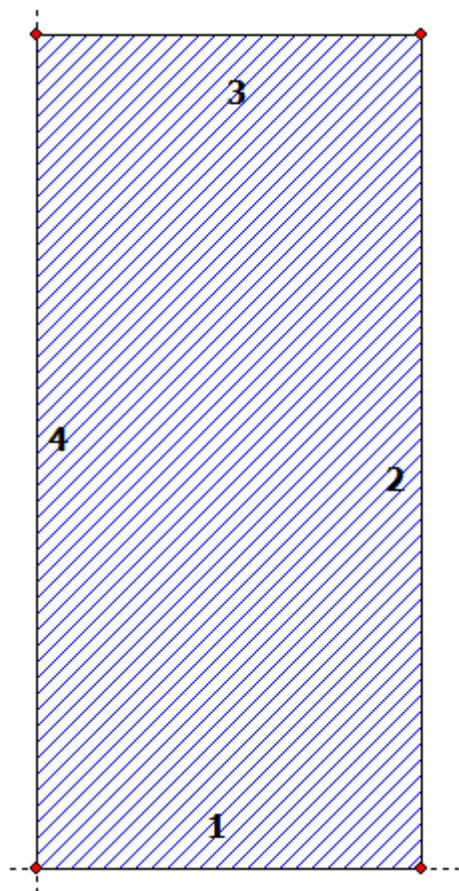
Force N	Accel. m/s ²	w (Impact point) mm
0.00	0.00	0.00 (max)
-28603.16	572.06	-56.96 (min)

Springs:

Package	Layer	u mm	v mm	w mm	ϕ rad	θ rad	Fx N	Fy N	Fz N	M _{ϕ} Nmm	M _{θ} Nmm
(x: 0.00 y: 0.00)											
Maximum											
1	1	0.00	0.00	0.00	0.0001	0.0638	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00
Minimum											
1	1	0.00	0.00	-0.00	-0.0004	-0.0006	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00
(x: 3300.00 y: 0.00)											
Maximum											
1	1	0.00	0.00	0.00	0.0003	0.0004	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
Minimum											
1	1	0.00	0.00	0.00	-0.0004	-0.0003	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00



SJ MEPLA Výpočtový protokol:



Geometrie:

Okraj	Okrajový bod		Střed oblouku		Směr otáčení
	mm	mm	mm	mm	+/-
1	0.00	0.00			
2	1850.00	0.00			



3	1850.00	4000.00
4	0.00	4000.00

Uložení:

Okrajové uložení:

Okraj	Typ podpěry	
1	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
2	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)
3	w	: pevné - u, v, ϕ , θ : volné (kloubové)

Vrstvy:

Skladba vrstvy:

Balík	Vrstva	Popis
1	7	Float glass
1	6	PVB 22 C° loading until 10 sec, blasts
1	5	Float glass
1	4	PVB 22 C° loading until 10 sec, blasts
1	3	Float glass
1	2	PVB 22 C° loading until 10 sec, blasts
1	1	Float glass

Charakteristické parametry:

Balík	Vrstva	mod. E N/mm ²	ν	Tloušťka mm	Hustota kg/m ³	α_t 1/K	ΔT K
1	7	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	6	12.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	5	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	4	12.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	3	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	12.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Zátěže:



Plošné zátěže:

- konstantně rozděleno:

Balík	tlak
	N/mm ²
1	0.00000e+00

Výkyv: (na balík skleněných tabulí 1)

Bod úderu

x	y	Výška pádu
mm	mm	mm
250.00	2000.00	2800.0

Rychlost	Spouštěcí výška
mm/s	mm
-7411.88	14.08

Těleso kyvadla: (pneumatika dvojího kola, DIN EN 12600)

Poloměr pneumatiky : 51 mm

Vnější poloměr : 194.5 mm

Tlak vzduchu : 3.5 - 4.0 bar

Hmotnost : 50.00 kg

Tuhost pneumatik: (zjištěno z pokusů)

nelineární charakteristika pružiny

$C = 300.0 + 2.0 * |dw|$ [N/mm]

Postup výpočtu:

geometricky nelineární (nasazení velkých napříč k rovině desky)

dynamický výpočet

Parametry konečné sítě prvku:

Velikost prvku : 120.0 mm

Počet prvků : 495

Počet uzlů : 2077 (na balík)

Počet neznámých : 35182

Extrémní hodnoty dynamického výpočtu: doba trvání 0.08000 [s]



Minimální a maximální deformace:

Balík	- pozice -		deformace
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	2000.00	-65.21 (min)
	0.00	2000.00	20.30 (max)

Maximální napnutí hlavního tahu:

Balík	Vrstva	x	y	σ
		mm	mm	N/mm ²
1	7	260.57	2000.00	28.09
1	5	232.77	2000.00	39.71
1	3	232.77	2000.00	49.96
1	1	232.77	2000.00	68.34

Kyvadlo:

	Síla	Akcel.	w (Bod nárazu)
	N	m/s ²	mm
	0.00	0.00	17.72 (max)
	-30051.72	601.03	-56.46 (min)