

**Vydání
září 2012**

Program

RF-GLASS

**Posouzení jednovrstvého,
vrstveného a izolačního skla**

Popis programu

Všechna práva včetně práv k překladu vyhrazena.

Bez výslovného souhlasu společnosti Ing. Software Dlubal s.r.o. není povoleno tento popis programu ani jeho jednotlivé části jakýmkoli způsobem dále šířit.

© **Ing. Software Dlubal s.r.o.**
Anglická 28 120 00 Praha 2

Tel.: +420 222 518 568
Fax: +420 222 519 218
Email: info@dlubal.cz
Web: www.dlubal.cz

Obsah

	Obsah	Strana		Obsah	Strana
1.	Úvod	4	4.1.4	Záložka Výsledky	44
1.1	Přídavný modul RF-GLASS	4	4.2	Spuštění výpočtu	45
1.2	Tým pro vývoj modulu RF-GLASS	5	5.	Výsledky	46
1.3	Poznámka k příručce	5	5.1	Max. napětí po zatíženích	47
1.4	Spuštění modulu RF-GLASS	6	5.2	Max. napětí po plochách	49
2.	Teorie	9	5.3	Napětí po bodech	49
2.1	Symboly	9	5.4	Max. posunutí	50
2.2	Typy skleněných konstrukcí	10	5.5	Tlak plynu	51
2.2.1	Jednovrstvé sklo	10	5.6	Výkaz materiálu	52
2.2.2	Vrstvené sklo	10	6.	Výstup	54
2.2.3	Izolační sklo	11	6.1	Výstupní protokol	54
2.3	Maticе tuhosti	13	6.2	Tisk zobrazení z RF-GLASS	54
2.3.1	2D - Smykové spřažení vrstev je zohledněno	13	7.	Obecné funkce	56
2.3.2	3D	15	7.1	Návrhové případy v RF-GLASS	56
2.3.3	2D – Smykové spřažení vrstev není zohledněno	15	7.2	Jednotky a desetinná místa	57
3.	Vstupní data	17	7.3	Export výsledků	58
3.1	Základní údaje	17	7.4	Klávesové zkratky	60
3.1.1	Záložka Mezní stav únosnosti	18	7.5	Návaznost na RFEM	60
3.1.2	Záložka Mezní stav použitelnosti	19	8.	Příklady	61
3.2	Vrstvy	20	8.1	Příklad 1 – Výpočet prvků matice tuhosti	61
3.3	Liniové podpory	23	8.2	Příklad 2 – Izolační sklo	65
3.4	Uzlové podpory	27	8.2.1	Postup výpočtu v RF-GLASS	66
3.5	Obvodové nosníky	29	8.2.2	Kontrolní výpočet	73
3.6	Parametry klimatického zatížení	30	8.2.3	Výpočet podle TRLV, dodatku A	77
3.7	Třída trvání zatížení	32	8.3	Příklad 3 – Izolační sklo, výpočet podle TRLV, dodatku A	79
3.8	Údaje pro posouzení použitelnosti	33	8.4	Příklad 4 – Zakřivené izolační sklo	82
4.	Výpočet	34	8.4.1	Postup výpočtu v RF-GLASS	83
4.1	Detaily	35	8.4.2	Kontrolní výpočet	90
4.1.1	Záložka Výpočet / modelování	36	A	Literatura	94
4.1.2	Záložka Posouzení	38	B	Index	95
4.1.3	Záložka Napětí	39			

1. Úvod

1.1 Přídavný modul RF-GLASS

Přídavný modul RF-GLASS od společnosti Ing. Software Dlubal s.r.o. slouží k výpočtu deformací a napětí skleněných ploch. Uživatel zde může vytvářet všechny typy zasklení, tedy nejen skla jednovrstvá, ale i vrstvená a izolační. Dále je možné se rozhodnout, zda-li ve výpočtu chceme zohlednit smykové spřažení vrstev či nikoliv.

K dispozici je zde materiálová databáze se všemi běžnými typy skel, fólií i plynů. Tato databáze obsahuje všechny podstatné materiálové parametry podle norem DIN 18008-1:2010-12, E DIN EN 13474, předpisu TRLV:2006-08 a směrnice DIBt. Do databáze může uživatel samozřejmě přidávat i další materiály.

U izolačních skel se ve výpočtu zohledňuje nejen vnější zatížení, ale i změny teploty, atmosférického tlaku a nadmořské výšky, které působí na mezivrstvu plynu. K dispozici je i zjednodušený výpočet podle dodatku A normy DIN 18008-1:2010-12 či předpisu TRLV:2006-08.

Modul přináší uživateli díky svému přehlednému uspořádání a intuitivním tabulkám pro zadání vstupních údajů výrazné usnadnění práce. V této příručce jsou popsány všechny potřebné informace pro práci s modulem RF-GLASS, včetně vzorových příkladů.

Stejně jako ostatní moduly je i RF-GLASS plně integrovanou součástí programu RFEM. Není přitom pouze optickou součástí programu. Výsledky modulu včetně grafických zobrazení lze totiž začlenit do výstupního protokolu programu RFEM. Celý výpočet tak lze pohodlně a především jednotně upravit a uspořádat. Shodná struktura všech modulů v neposlední řadě umožňuje snadno si osvojit práci i s tímto modulem.

Při práci s hlavním programem RFEM a jeho přídavným modulem RF-GLASS Vám přejeme hodně úspěchů.

Vaše společnost ING. SOFTWARE DLUBAL S.R.O.

1.2 Tým pro vývoj modulu RF-GLASS

Na vývoji modulu RF-GLASS se podíleli:

Koordinátoři programu

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Ing. Pavel Bartoš

Programátoři

doc. Ing. Ivan Němec, CSc.
Mgr. Petr Zajíček

Ing. Lukáš Weis
Mgr. Vítězslav Štembera, Ph.D.

Databáze průřezů a materiálů

Ing. Jan Rybín, Ph.D.

Design programu, dialogů a ikon

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

MgA. Robert Kolouch

Testování programu

Mgr. Vítězslav Štembera, Ph.D.
Ing. Iva Horčíčková

M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch

Manuály, dokumentace a překlady

Ing. Iva Horčíčková
Mgr. Vítězslav Štembera, Ph.D.

Mgr. Michaela Kryšková

Technická podpora a konečná kontrola

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel
Dipl.-Ing. (BA) Sandy Baumgärtel
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. Frank Faulstich
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
M.Sc. Dipl.-Ing. (BA) Shaobin Ding
Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hörold
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel

Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich
M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
M. Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
M. Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
M.Sc. Dipl.-Ing. (BA) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wopperer

1.3 Poznámka k příručce

Tematické oblasti jako požadavky na výpočetní systém a postup instalace jsou podrobně popsány v manuálu k hlavnímu programu RFEM, a proto je v této příručce ponecháme stranou. Pozornost naopak soustředíme na zvláštnosti, které přináší práce s tímto přídatným modulem.

Při popisu modulu RF-GLASS vycházíme z pořadí a struktury tabulek se vstupními a výstupními daty. V textu uvádíme popisované **ikony** (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [Detaily]. Tlačítka jsou zároveň zobrazena na levém okraji. **Názvy** dialogů, tabulek a jednotlivých menu jsou pak v textu vyznačeny *kurzivou*, aby bylo snadné vyhledat je v programu.

Do této příručky zařazujeme také index pro rychlé vyhledání určitých termínů. Pokud však ani tak nenaleznete to, co potřebujete, pak se Vám na našich webových stránkách www.dlubal.cz nabízí vyhledávač, pomocí kterého můžete dle zadaných kritérií listovat v rozsáhlém seznamu *Otázky a odpovědi*.

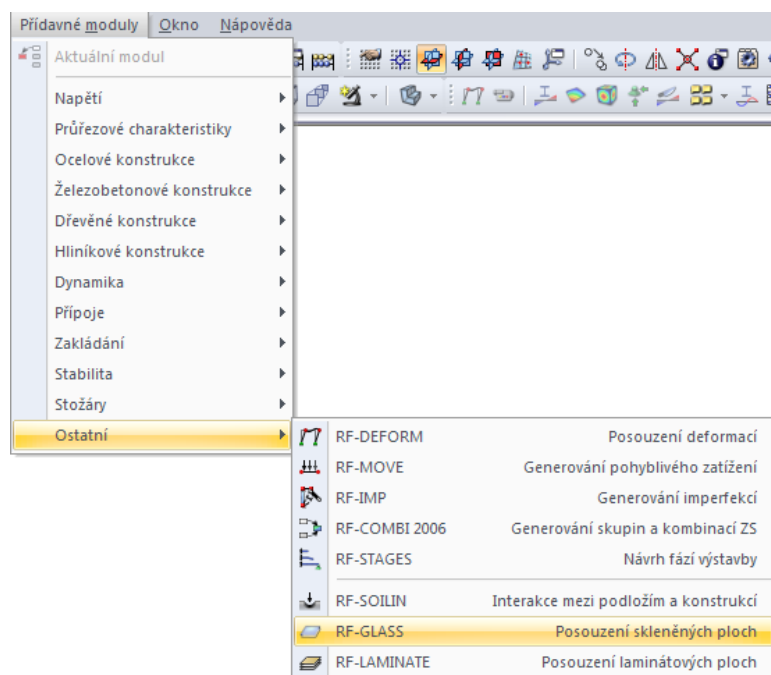
1.4 Spuštění modulu RF-GLASS

Přídavný modul RF-GLASS lze v RFEMu spustit několika způsoby.

Hlavní nabídka

Modul RF-GLASS můžeme vyvolat příkazem z hlavní nabídky programu RFEM

Přídavné moduly → Ostatní → RF-GLASS.

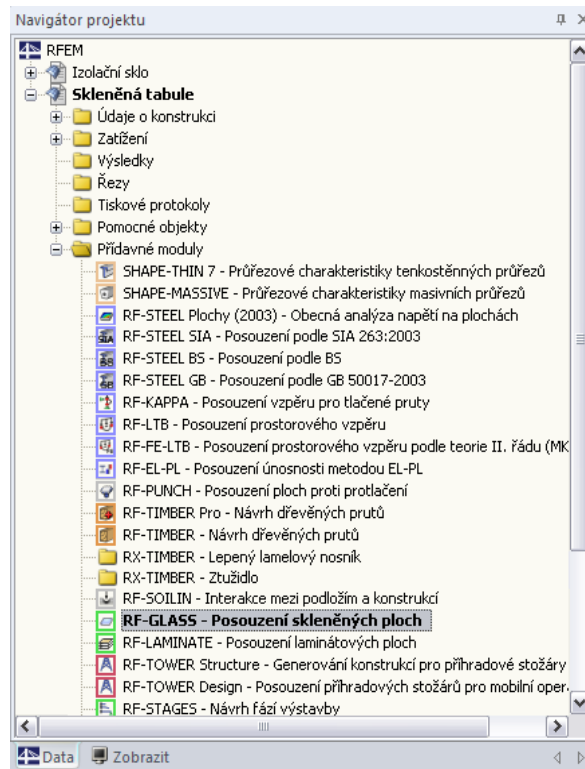


Obr. 1.1: Hlavní nabídka: *Přídavné moduly* → *Ostatní* → *RF-GLASS*

Navigátor

Modul RF-GLASS lze dále vyvolat z navigátoru *Data* kliknutím na položku

Přídavné moduly → RF-GLASS – Posouzení skleněných ploch.

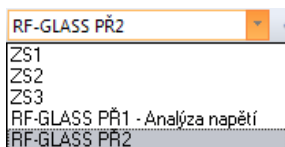


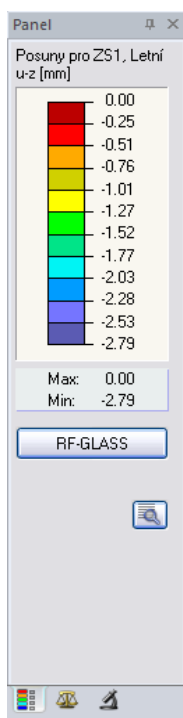
Obr. 1.2: Navigátor Data: Přidavné moduly → RF-GLASS

Panel

Pokud jsou v určitém modelu v RFEMu již k dispozici výsledky z modulu RF-GLASS, pak lze daný případ z tohoto modulu nastavit v seznamu zatěžovacích stavů. Pomocí tlačítka [Zapnout/vypnout výsledky] se v grafickém okně zobrazí posuny nebo napětí.

V panelu máme nyní k dispozici tlačítko [RF-GLASS], kterým lze modul RF-GLASS spustit.





Obr. 1.3: Panel: Tlačítko [RF-GLASS]

2. Teorie

V této kapitole jsou uvedeny teoretické základy, které jsou nutné k práci s modulem RF-GLASS.

2.1 Symboly

t	Tloušťka jednotlivých vrstev [m]
E	Youngův modul pružnosti [Pa]
G	Modul pružnosti ve smyku [Pa]
ν	Poissonův součinitel [-]
γ	Měrná tíha [N/m ³]
α_T	Součinitel teplotní roztažnosti [1/K]
$\sigma_{\text{mezní}}$	Mezní hodnota napětí [Pa]
λ	Tepelná vodivost [W/(mK)]
d_{ij}	Prvky matice tuhosti vrstvy [Pa]
D_{ij}	Prvky globální matice tuhosti [Nm, Nm/m, N/m]
σ_x, σ_y	Normálové složky napětí [Pa]
$\tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}$	Smykové složky napětí [Pa]
n	Počet vrstev [-]
z	Souřadnice osy z [m]
T	Teplota [K]
p	Tlak [Pa]
H	Nadmožská výška [m]
V	Objem [m ³]
m_x	Ohybový moment vyvolávající napětí ve směru osy x [Nm/m]
m_y	Ohybový moment vyvolávající napětí ve směru osy y [Nm/m]
m_{xy}	Krouticí moment [Nm/m]
v_x, v_y	Posouvající síly [N/m]
n_x	Normálová síla se směru osy x [N/m]
n_y	Normálová síla se směru osy y [N/m]
n_{xy}	Smykový tok [N/m]

2.2 Typy skleněných konstrukcí

Jak již bylo zmíněno v úvodu, existují skla jednovrstvá, vrstvená a izolační. V následujících kapitolách bude uvedeno, jak se jednotlivé typy modelují.

2.2.1 Jednovrstvé sklo

Jednovrstvé sklo je nejjednodušší případ skladby. Pro jednovrstvá skla je možné použít:

- 2D výpočet (deskovou teorií)
- 3D výpočet (modelování pomocí těles)

Výpočet pomocí deskové teorie má omezení při výpočtu desek s extrémní tloušťkou. V tomto případě je nutné zvolit výpočet pomocí těles. Jednoduché přibližné kritérium pro platnost výpočtu pomocí deskové teorie je dáno vztahem $t/L \leq 0.05$, kde t je tloušťka a L je délka strany počítané desky (případně charakteristický rozměr konstrukce).

2.2.2 Vrstvené sklo

Vrstvené sklo je složeno minimálně ze dvou skleněných tabulí, spojených mezivrstvou, nejčastěji tvořenou fólií, případně pryskyřicí.

Pro vrstvená skla je možný:

- 2D výpočet se smykovým spřažením vrstev (deskovou teorií)
- 3D výpočet (modelování pomocí těles)
- 2D výpočet bez smykového spřažení vrstev (deskovou teorií)

2D výpočet se smykovým spřažením vrstev

Vybrané ploše nebo plochám se přiřadí tuhost, která se spočítá na základě skladby jednotlivých vrstev. Plocha se pak modeluje pomocí běžných plošných prvků.

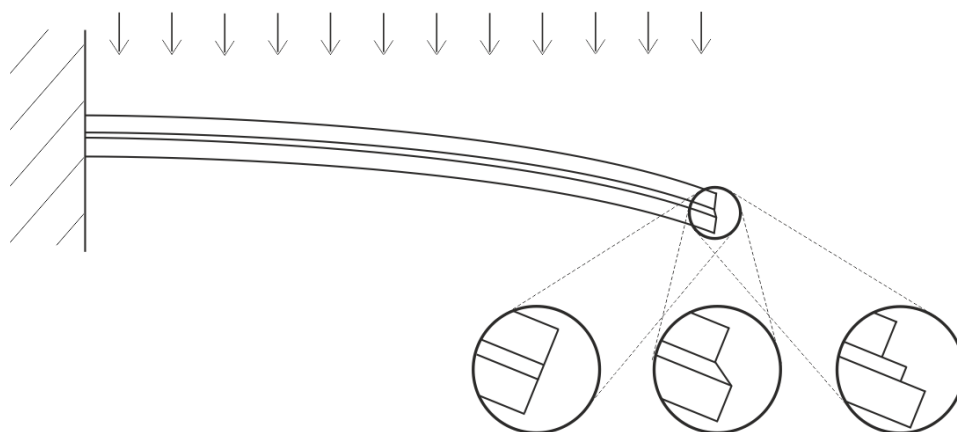
3D výpočet

U vrstvených skel je obvykle fólie, kterou jsou jednotlivá skla spojena, mnohem tenčí než sklo. Součin tloušťky fólie a jejího modulu pružnosti ve smyku $t \cdot G$ je tak o 3-7 řádů nižší než součin tloušťky skla s jeho modulem pružnosti ve smyku. V tomto případě má hmotná normála po deformaci ve skle a fólii výrazně odlišný směr, viz Obr. 2.2, a desková 2D teorie dává zkreslené výsledky. V tomto případě je možné zvolit 3D výpočet, jehož výsledky jsou přesné, ale časově náročnější.

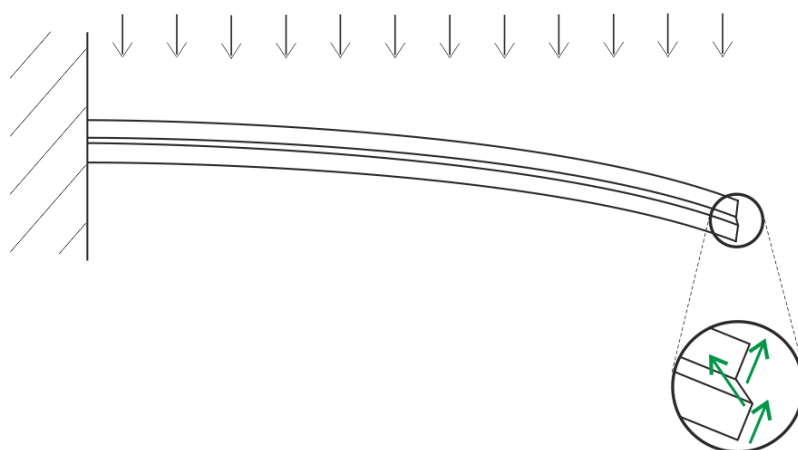
2D výpočet bez smykového spřažení vrstev

Další možností je pak výpočet pomocí 2D deskové teorie bez zohlednění smykového spřažení vrstev. Jednotlivé skleněné tabule pak po sobě mohou „klouzat“. Tento výpočet se doporučuje pro dlouhodobě působící zatížení, kdy by se únosnost spojovací fólie ve smyku neměla zohledňovat, protože její vlastnosti závisí na délce trvání zatížení a teplotě.

Všechny tři uvedené možnosti jsou znázorněny na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Vrstvené sklo namáhané ohybem: vlevo 2D desková teorie se zohledněním smykového spřažení vrstev, uprostřed 3D výpočet, vpravo 2D desková teorie bez smykového spřažení vrstev

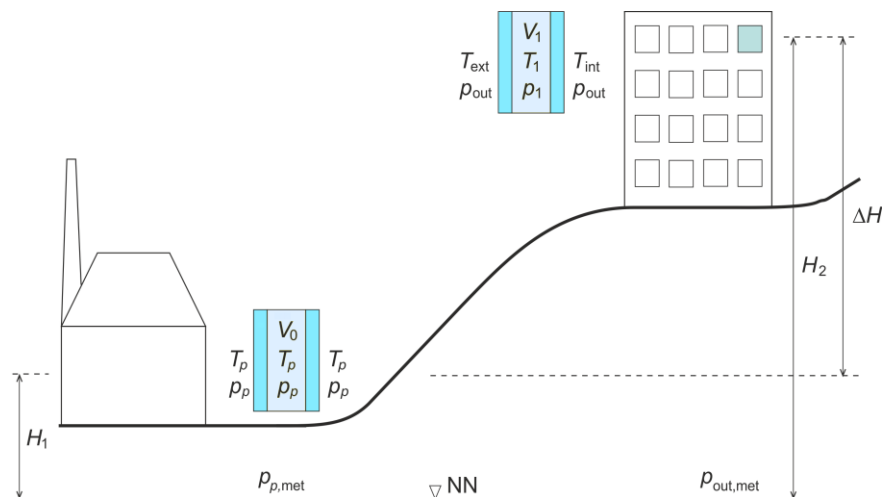


Obr. 2.2: Zalomení hmotné normály u vrstveného skla (3D výpočet)

2.2.3 Izolační sklo

Izolační sklo se skládá nejen z jednotlivých tabulí skla a mezivrstvy plynu, ale dále je zde distanční rámeček a primární a sekundární tmel. Všechny tyto složky jsou podstatné pro celkové chování. Uživatel proto v modulu RF-GLASS kromě skladby jednotlivých vrstev má možnost zadat i vlastnosti sekundárního tmele a parametry klimatického zatížení.

Pro izolační skla probíhá výpočet ve 3D, tedy všechny vrstvy jsou modelovány tělesy. Vrstva typu Plyn se modeluje pomocí objemového prvku speciálně vytvořeného pro tento výpočet. Jedná se o tzv. „Plyn mezi dvěma plochami“. Při výpočtu se pak vychází ze stavové rovnice pro ideální plyn. Sklo se vyrábí při teplotě T_p , tlaku p_p a počátečním objemu (dané mezivrstvy) plynu V_0 .



Obr. 2.3: Parametry klimatického zatížení: vlevo výroba, vpravo montáž, NN = střední hladina moře

Zatížení změnou teploty se převádí na změnu okolního tlaku p_{out} pomocí koeficientu c_1 . Okolní tlak p_{out} , zahrnující změnu atmosférického tlaku přepočteného na hladinu moře Δp_{met} , změnu teploty plynu ΔT a změnu okolního tlaku změnou výšky ΔH , je dán vztahem

$$p_{out} = p_p + \Delta p_{met} - c_1 \Delta T - c_2 \Delta H \tag{2.1}$$

$$\Delta p_{met} = p_{out,met} - p_{p,met} \tag{2.2}$$

$$\Delta T = T_1 - T_p \tag{2.3}$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 \tag{2.4}$$

kde

$$c_1 = \frac{p_p}{T_p} \text{ Pa/K} \tag{2.5}$$

$$c_2 = 12 \text{ Pa/m} \tag{2.6}$$

Řešení dále splňuje rovnici rovnováhy

$$p_p V_0 = p_1 V_1 \tag{2.7}$$

H_1	Nadmořská výška při výrobě	$p_{p,met}$	Atmosférický tlak při hladině moře (výroba)
H_2	Nadmořská výška při montáži	$p_{out,met}$	Atmosférický tlak při hladině moře (montáž)
ΔH	Rozdíl nadmořských výšek $H_2 - H_1$	p_p	Tlak při výrobě
T_p	Teplota při výrobě	p_{out}	Venkovní tlak v místě montáže
T_{ext}	Teplota na vnější straně skla (montáž)	p_1	Tlak plynu v místě montáže
T_{int}	Teplota na vnitřní straně skla (montáž)	V_0	Počáteční objem plynu
T_1	Teplota plynu (montáž)	V_1	Konečný objem plynu

Tabulka 2.1: Symboly pro izolační sklo

Výpočet izolačních skel probíhá vždy teorií III. řádu, tj. teorií velkých deformací, za použití

NEWTON-RAPHSONOVY metody.

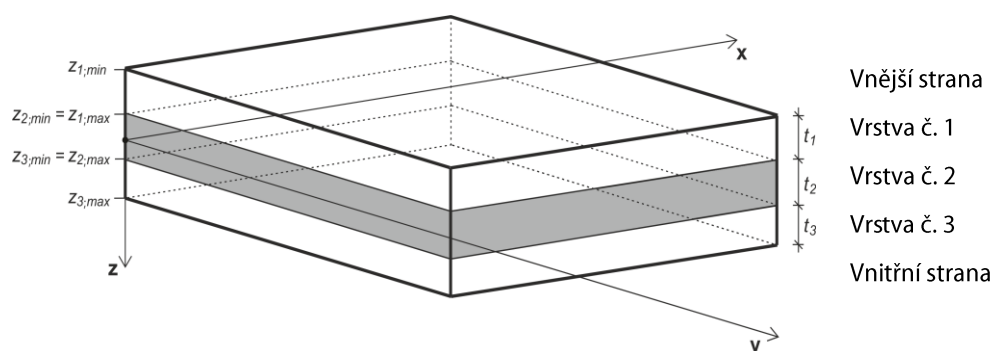
2.3 Matice tuhosti

Sklo je izotropní materiál, proto je definováno modulem pružnosti E , smykovým modulem G a Poissonovým součinitelem ν , mezi nimiž platí vztah

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (2.8)$$

2.3.1 2D - Smykové sprážení vrstev je zohledněno

Uvažujme desku tvořenou n vrstvami izotropního materiálu. Každá z vrstev má tloušťku t_i a minimální a maximální z-souřadnici $z_{i;\min}$, $z_{i;\max}$.



Obr. 2.4: Schéma vrstev

Pro každou vrstvu je matice tuhosti \mathbf{d}_i podle následujícího vztahu

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i;11} & d_{i;12} & 0 \\ & d_{i;22} & 0 \\ \text{sym.} & & d_{i;33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & \frac{\nu_i E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ & \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ \text{sym.} & & G_i \end{bmatrix}, \quad G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

Globální matice tuhosti má tvar

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & \text{sym.} & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{Bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ \text{sym.} & & & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

- Ohyb a kroucení
- Smyk
- Membránové namáhání
- Excentricita

Prvky matice tuhosti (ohyb a kroucení) [Nm]

$$\begin{aligned}
 D_{11} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^3 - z_{i;\min}^3}{3} d_{i;11} & D_{12} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^3 - z_{i;\min}^3}{3} d_{i;12} \\
 D_{22} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^3 - z_{i;\min}^3}{3} d_{i;22} & D_{33} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^3 - z_{i;\min}^3}{3} d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Prvky matice tuhosti (účinky excentricity) [Nm/m]

$$\begin{aligned}
 D_{16} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;11} & D_{17} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;12} \\
 D_{27} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;22} & D_{38} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Prvky matice tuhosti (membrána) [N/m]

$$\begin{aligned}
 D_{66} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11} & D_{67} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12} \\
 D_{77} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22} & D_{88} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Prvky matice tuhosti (smyk) [N/m]

Přesný postup výpočtu smykových prvků matice tuhosti nebude uveden, ale platí pro ně následující vztah

$$\max_i \left(\frac{5}{6} G_i t_i \right) \leq D_{44} = D_{55} \leq \frac{5}{6} \max_i (G_i) \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.12)$$

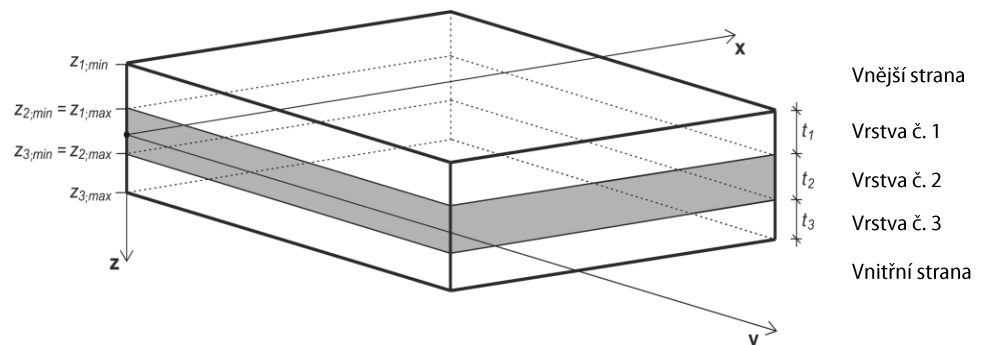
2.3.2 3D

V případě, že model je vytvořen pomocí těles, je použita následující matice tuhosti

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & \frac{1}{G} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}, \quad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (2.13)$$

2.3.3 2D – Smykové spřažení vrstev není zohledněno

Uvažujme nyní desku tvořenou n vrstvami izotropního materiálu, kdy jednotlivé vrstvy nejsou smykově spřaženy. Každá z vrstev má tloušťku t_i a minimální a maximální z-souřadnici $Z_{i;\min}$, $Z_{i;\max}$.



Obr. 2.5: Schéma vrstev




Pro každou vrstvu je matice tuhosti \mathbf{d}_i podle následujícího vztahu

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i;11} & d_{i;12} & 0 \\ & d_{i;22} & 0 \\ \text{sym.} & & d_{i;33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & \frac{\nu_i E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ & \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ \text{sym.} & & G_i \end{bmatrix}, \quad G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.14)$$

Globální matice tuhosti má tvar

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & \text{sym.} & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\begin{Bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & \text{sym.} & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

 Ohyb a kroucení
 Smyk
 Membránové namáhání

Prvky matice tuhosti (ohyb a kroucení) [Nm]

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;11}$$

$$D_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;12}$$

$$D_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;22}$$

$$D_{33} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;33}$$

Prvky matice tuhosti (membrána) [N/m]

$$D_{66} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11}$$

$$D_{67} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12}$$

$$D_{77} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22}$$

$$D_{88} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}$$

Prvky matice tuhosti (smyk) [N/m]

$$D_{44} = \sum_{i=1}^n \frac{5}{6} G_{i;11} t_i$$

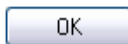
$$D_{55} = \sum_{i=1}^n \frac{5}{6} G_{i;22} t_i$$

3. Vstupní data

Vstupní údaje o konstrukci se zadávají v tabulkách, kde se zobrazují i výsledky výpočtu.

Po spuštění modulu RF-GLASS se v novém okně na levé straně zobrazí navigátor, který obsahuje všechny aktuálně přístupné tabulky. Nad navigátorem se nachází rozbalovací seznam všech případně již zadaných návrhových případů (viz kapitola 7.1, strana 56).

Tabulky lze otevřít buď kliknutím na jejich název v navigátoru modulu RF-GLASS nebo je lze postupně nalistovat pomocí vlevo znázorněných tlačítek [<] a [>], příp. pomocí kláves [F2] a [F3].



Tlačítkem [Výpočet] spustíme po zadání všech vstupních údajů výpočet.

Kliknutím na tlačítko [Detaily...] otevřeme dialog, v němž lze nastavit mezní posun, metodu analýzy a další parametry výpočtu (viz kapitola 4.1, strana 35).

Tlačítkem [Grafika] otevřeme pracovní plochu RFEMu.

Kliknutím na tlačítko [OK] uložíme zadané údaje a zavřeme modul RF-GLASS, zatímco tlačítkem [Storno] modul ukončíme bez uložení dat.

3.1 Základní údaje

V tabulce 1.1 *Základní údaje* se vybírají plochy a zatížení k posouzení. Uživatel má možnost stanovit zatěžovací stavy, kombinace zatížení nebo kombinace výsledků pro posouzení mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti zvláště v příslušných záložkách.

Posoudit

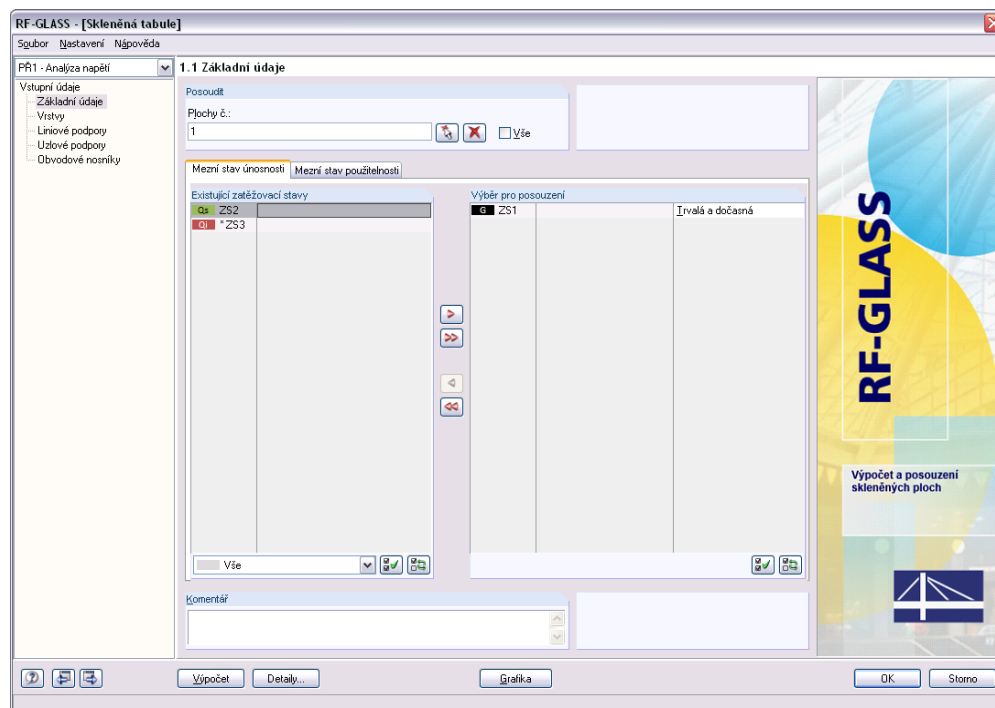
K výběru ploch k posouzení slouží vstupní pole, do něhož se zadávají čísla jednotlivých ploch. Výběr lze ulehčit aktivováním zaškrťovacího políčka Vše. Tlačítkem [Vybrat plochy jednotlivě] lze plochy zvolit graficky v pracovním okně RFEMu. Seznam již přednastavených čísel ploch lze rychle vymazat pomocí tlačítka [Smazat aktuální seznam ploch] nebo vybrat dvojitým kliknutím a přepsat ručně.



Komentář

V tomto poli, které se nachází ve spodní části tabulky, může uživatel uvést vlastní poznámky či vysvětlivky k aktuálnímu návrhovému případu v modulu RF-GLASS.

3.1.1 Záložka Mezní stav únosnosti



Obr. 3.1: Tabulka 1.1 Základní údaje – záložka Mezní stav únosnosti

Existující zatěžovací stavy

V této sekci se zobrazí seznam všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků vytvořených v RFEMu. Pomocí tlačítka [▶] lze vybrané zatěžovací stavy, kombinace zatížení nebo kombinace výsledků zařadit do seznamu vpravo *Výběr pro posouzení*. Jednotlivé položky lze vybrat i dvojným kliknutím. Tlačítkem [▶▶] převedeme do seznamu vpravo všechny položky najednou.

Několikanásobný výběr zatěžovacích stavů lze provést také pomocí klávesy [Ctrl], jak je běžné ve Windows. Lze tak vybrat a převést do seznamu vpravo několik zatěžovacích stavů najednou.

Ve spodní části sekce má uživatel možnost použít tlačítka [Vybrat vše] a [Obrátit výběr], která spolu s rozbalovacím seznamem usnadňují výběr požadovaných zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků.

Pokud je u zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení uvedena hvězdička (*), jak například vidíme na Obr. 3.1 u ZS3, nelze je posoudit. V takovém případě jim totiž nebyla přiřazena žádná zatížení nebo obsahují výlučně imperfekce. Toto však neplatí pro izolační skla, která nemusejí být zatížena vnějším zatížením z RFEMu, ale mohou být zatížena pouze změnou teploty, atmosférického tlaku či nadmořské výšky (viz kapitola 3.6, strana 30). Pro tyto případy po vyplnění tabulky 1.2 *Vrstvy*, kde uživatel zvolí alespoň jednu vrstvu Plynu, v tabulce 1.1 *Základní údaje* zmizí u zatěžovacích stavů bez přiřazeného zatížení hvězdička (*) a je možné je vybrat k posouzení.

Protože výpočet izolačního skla probíhá vždy teorií III. řádu, tj. teorií velkých deformací, není možné počítat kombinace výsledků pro izolační sklo.

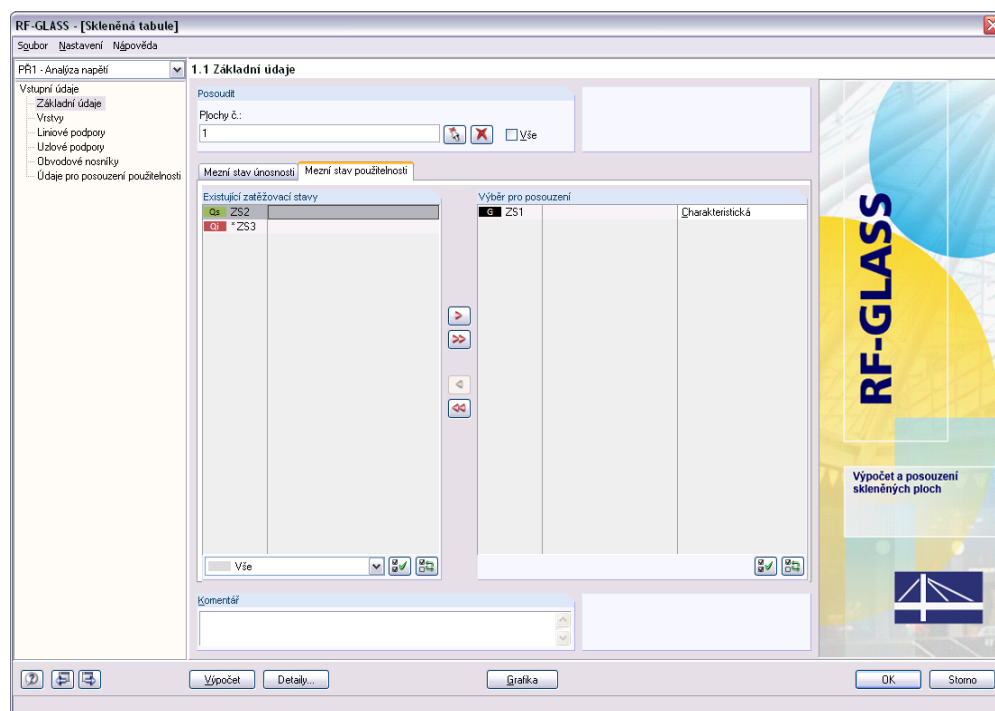
Výběr pro posouzení

V pravém sloupci jsou uvedena zatížení vybraná k posouzení. Tlačítkem [◀] můžeme vybrané zatěžovací stavy, kombinace zatížení nebo kombinace výsledků ze seznamu

opět odstranit. I zde lze výběr položek provést dvojitým kliknutím. Tlačítkem [◀◀] smažeme celý seznam.

V této sekci dále jednotlivým zatěžovacím stavům, kombinacím zatížení a kombinacím výsledků přiřazujeme návrhovou situaci *Trvalou a dočasnou* nebo *Mimořádnou*. Na základě této volby se přiřadí dílčí součinitele pro vlastnosti materiálů. Hodnoty dílčích součinitelů lze upravit v dialogu *Detaily* v záložce *Posouzení*. Dialog *Detaily* se otevře kliknutím na tlačítko [Detaily...].

3.1.2 Záložka Mezní stav použitelnosti



Obr. 3.2: Tabulka 1.1 Základní údaje – záložka Mezní stav použitelnosti

Existující zatěžovací stavy

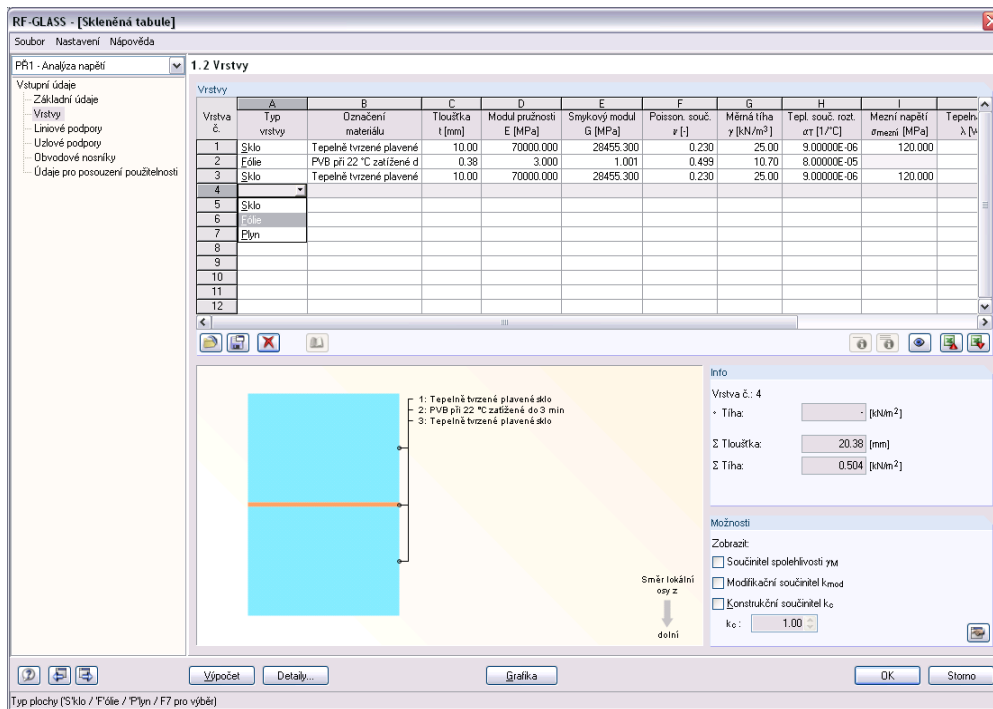
V této sekci se zobrazí seznam všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení nebo kombinací výsledků vytvořených v RFEMu. Po výběru do seznamu vpravo *Výběr pro posouzení* se v navigátoru zobrazí další tabulka 1.8 *Údaje pro posouzení použitelnosti*.

Výběr pro posouzení

Zařazení zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků do seznamu k posouzení, příp. jejich odstranění ze seznamu se provádí stejným způsobem jako v předchozí záložce (viz kapitola 3.1.1, strana 18).

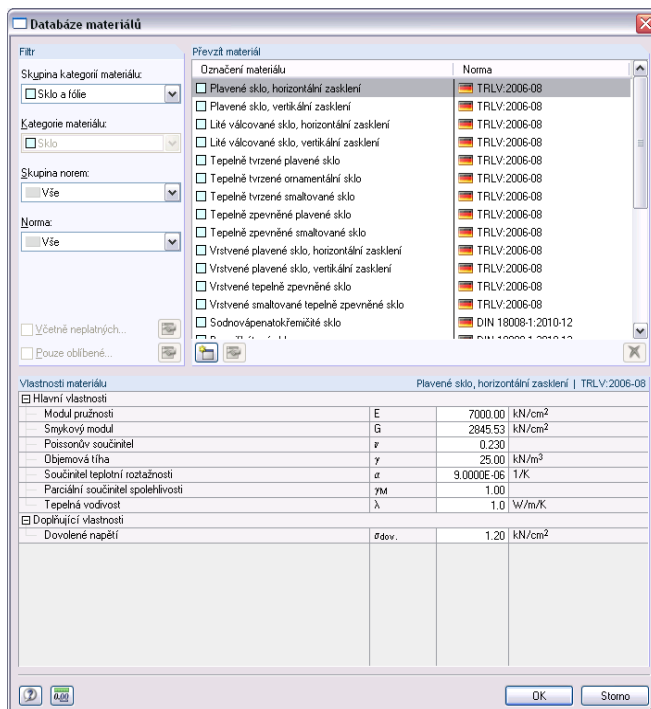
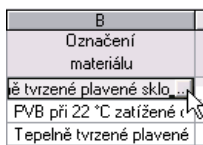
Ve *Výběru pro posouzení* se také přiřazuje jednotlivým zatěžovacím stavům, kombinacím zatížení a kombinacím výsledků kombinace účinků *Charakteristická*, *Častá* nebo *Kvazistálá*. Na základě této volby se použijí různé mezní hodnoty pro průhyb. Mezní hodnoty lze upravit v dialogu *Detaily* v záložce *Posouzení*. Dialog *Detaily* se otevře kliknutím na tlačítko [Detaily...].

3.2 Vrstvy



Obr. 3.3: Tabulka 1.2 Vrstvy

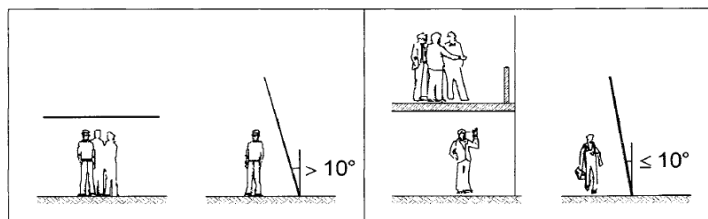
V této tabulce se definují jednotlivé vrstvy skleněné konstrukce. Pro každý návrhový případ lze zadat jednu skladbu. Ve sloupci A *Typ vrstvy* se nám nabízí 3 položky: **Sklo**, **Fólie** a **Plyn**. Příslušný materiál lze vybrat přímo z databáze, kde je předem definováno již velké množství materiálů se všemi nezbytnými parametry. Databázi materiálů otevřeme kliknutím na tlačítko [Převzít materiál z databáze...] nebo umístíme kurzor myši do příslušného řádku ve sloupci B a klikneme na tlačítko [...], příp. stiskneme funkční klávesu [F7].



Obr. 3.4: Databáze materiálů

V závislosti na tom, jaký typ vrstvy jsme v tabulce 1.2 ve sloupci A zvolili, se nám v materiálové databázi v sekci *Filtr* přednastaví odpovídající *kategorie materiálu*. Nabídku materiálů můžeme pak redukovat pomocí *Skupiny norem* či *Normy*. V seznamu *Převzít materiál*, který se nachází vpravo, lze vybrat určitý materiál a ve spodní části dialogu zkontrolovat jeho parametry. Po kliknutí na tlačítko [OK], stisknutím klávesy [↵] nebo dvojným kliknutím se materiál převezme do tabulky 1.2 *Vrstvy* modulu RF-GLASS. V modulu pak lze přímo v tabulce upravovat veškeré parametry materiálu.

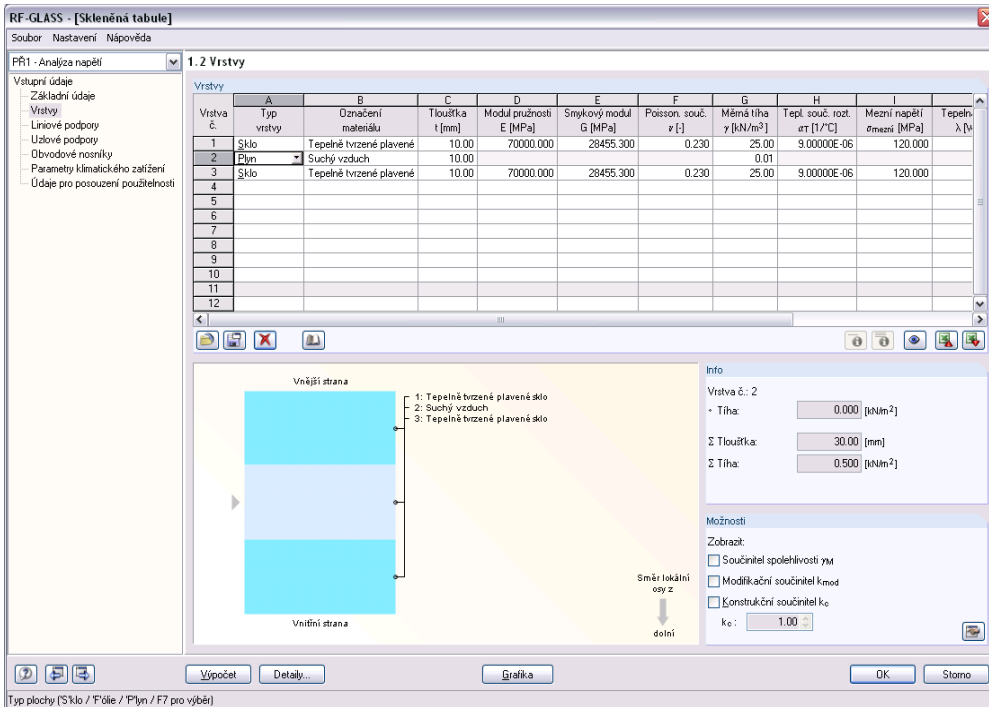
V materiálové databázi skla pro předpis TRLV se rozlišuje zasklení vertikální a horizontální. Následující obrázek vysvětluje, kdy je konstrukce považována za horizontální a kdy za vertikální. Pro skla, u kterých není toto rozdělení uvedeno, jsou všechny parametry pro oba typy zasklení shodné.



Obr. 3.5: Vlevo horizontální zasklení, vpravo vertikální zasklení [6]

Jednotlivé vrstvy mohou být jak pevného (sklo či fólie) tak plynného skupenství. Pokud skladba obsahuje vrstvu plynu (jedná se tak o izolační sklo), zobrazí se (jak vidíme na Obr. 3.6), která strana je považována za vnější a která za vnitřní. Tato informace je důležitá pro zadávání dalších parametrů v tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení*, která se zobrazí v navigátoru. Tuto tabulku popisujeme v kapitole 3.6 na straně 30.

Důležité je dále upozornit, že vrstva plynu musí být vždy na obou stranách sevřena vrstvami z pevného materiálu (ze skla nebo fólie).



RF-GLASS - [Skleněná tabule]

Soubor Nastavení Nápvěda

PR1 - Analýza napětí

1.2 Vrstvy

Vrstva č.	Typ vrstvy	Označení materiálu	Tloušťka t [mm]	Modul pružnosti E [MPa]	Smykový modul G [MPa]	Poisson. souč. ν [-]	Měrná tíha γ [kN/m³]	Tepl. souč. roz. αT [1/°C]	Mezní napětí σmezí [MPa]	Tepl. λ [W/mK]
1	Sklo	Teplně tvrdě plavené	10.00	70000.000	28455.300	0.230	25.00	3.00000E-06	120.000	
2	Plyn	Suchý vzduch	10.00				0.01			
3	Sklo	Teplně tvrdě plavené	10.00	70000.000	28455.300	0.230	25.00	3.00000E-06	120.000	
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

Vnější strana

1: Teplně tvrdě plavené sklo
2: Suchý vzduch
3: Teplně tvrdě plavené sklo

Vnitřní strana

Směr lokální osy z
↓
dolní

Info

Vrstva č.: 2
- Tíha: 0.000 [kN/m²]
Σ Tloušťka: 30.00 [mm]
Σ Tíha: 0.500 [kN/m²]

Možnosti

Zobrazit:

Součinitel spolehlivosti γ_M
 Modifikační součinitel k_{Mod}
 Konstruktivní součinitel k_{Co}










k_{Co}: 1.000

Výpočet Detaily... Grafika OK Storno

Typ plochy (S/klo / F/ólie / P/lyn / F7 pro výběr)

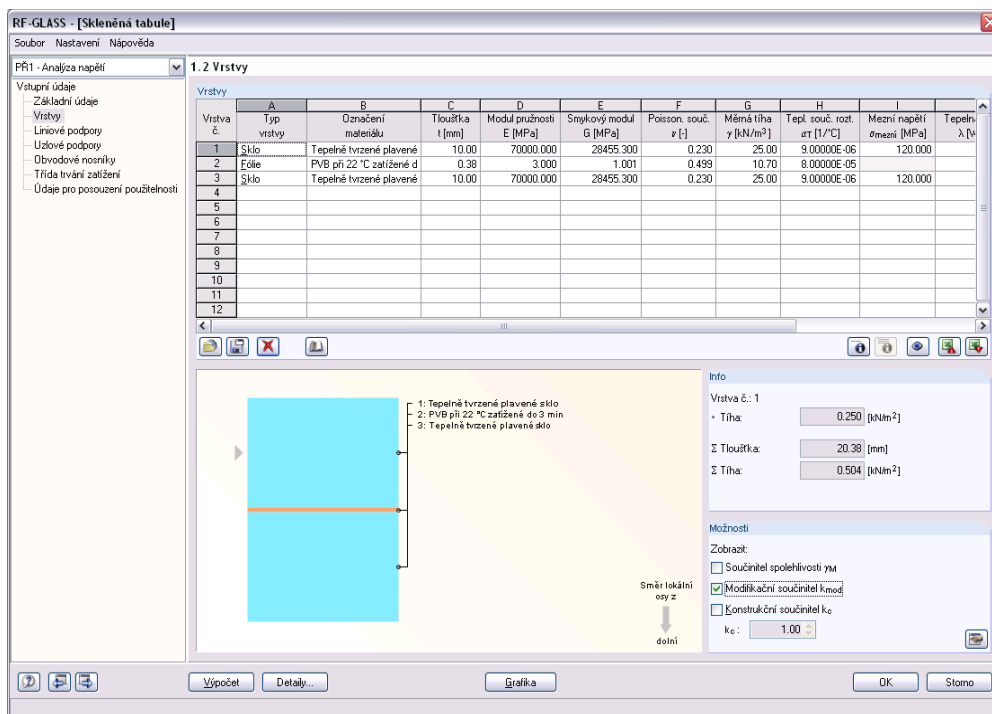
Obr. 3.6: Tabulka 1.2 *Vrstvy* – izolační zasklení

Pod tabulkou 1.2 má uživatel k dispozici celou řadu užitečných tlačítek, která mají následující funkce:

Tlačítko	Název	Funkce
	Načíst uložené vrstvy	Slouží k načtení dříve uložené skladby.
	Uložit vrstvy jako...	Umožňuje uložit zadanou skladbu z tabulky 1.2. Tu pak lze předchozím tlačítkem [Načíst uložené vrstvy] načíst v jakémkoli dalším případě v modulu RF-GLASS
	Smazat všechny vrstvy	Vymaže všechna data z tabulky 1.2.
	Převzít materiál z databáze...	Slouží k otevření dialogu <i>Databáze materiálů</i> .
	Zobrazit prvky matice tuhosti aktuální vrstvy	Zobrazí prvky matice tuhosti vysvětlené v kapitole 2.3 na straně 13.
	Zobrazit prvky rozšířené matice tuhosti	Zobrazí prvky globální matice tuhosti vysvětlené v kapitole 2.3 na straně 13.
	Skok do grafiky pro změnu zobrazení	Slouží k otevření pracovního okna RFEMu ke grafické kontrole, aniž se zavře modul RF-GLASS.
	Exportovat do Microsoft Excel nebo Open Office.org Calc	Exportuje obsah aktuálně otevřené tabulky do MS Excelu, resp. do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org → kapitola 7.3, strana 58.
	Importovat z Microsoft Excel nebo Open Office.org Calc	Importuje obsah tabulky z MS Excelu z listu 1.2 Vrstvy, resp. z aplikace Calc z balíku OpenOffice.org do tabulky 1.2.

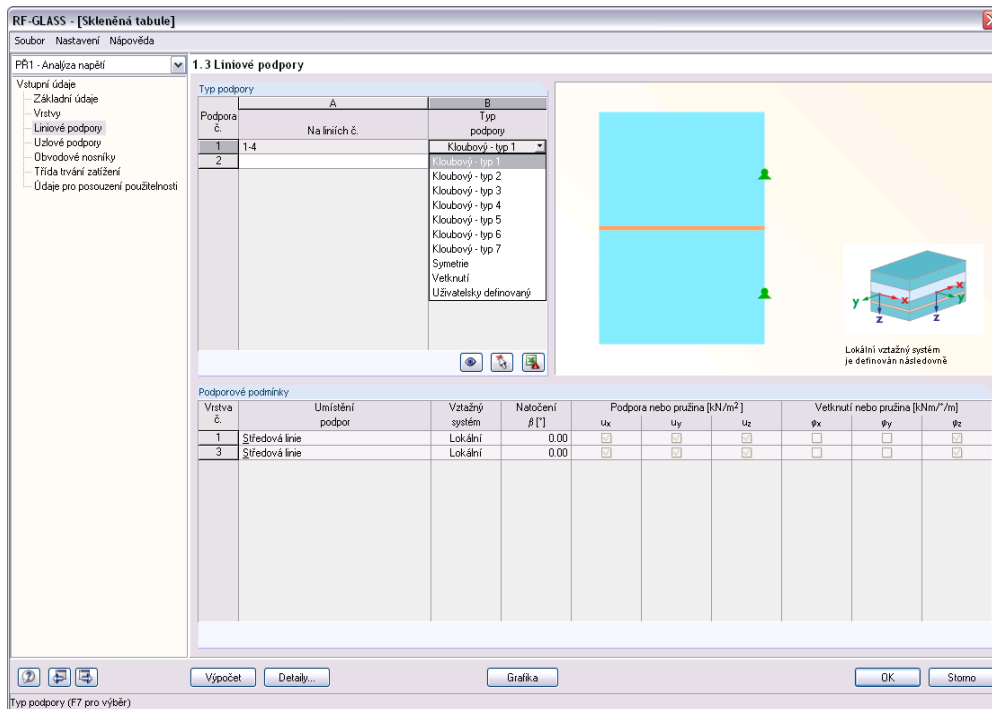
Tabulka 3.1: Tlačítka v tabulce *Vrstvy*

V tabulce 1.2 *Vrstvy* vpravo dole je informace o plošné tize právě vybrané vrstvy, o celkové tloušťce a plošné tize konstrukce. Dále jsou zde k dispozici zaškrťovací políčka pro zohlednění součinitele spolehlivosti γ_M , modifikačního součinitele k_{mod} a konstrukčního součinitele k_c . Jestliže zaškrtneme políčko *Modifikační součinitel* k_{mod} , viz Obr. 3.7, zobrazí se v navigátoru další tabulka 1.7 *Třída trvání zatížení*.



Obr. 3.7: Tabulka 1.2 Vrstvy – modifikační součinitel k_{mod}

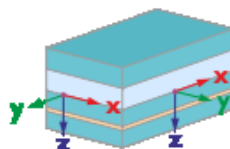
3.3 Liniové podpory



Obr. 3.8: Tabulka 1.3 Liniové podpory

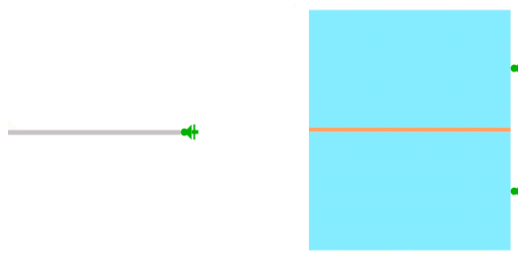
Analýza v modulu RF-GLASS vyžaduje přesné zadání statického modelu. Uživatel má proto k dispozici devět typů předdefinovaných liniových podpor a uživatelsky definovanou liniovou podporu. Podpory zadané v modulu RF-GLASS slouží pouze pro tento modul a neovlivňují žádným způsobem zadání v RFEMu.

V tabulce 1.3 *Liniové podpory* ve sloupci A vybereme *linie*, na nichž podpora působí. Ve sloupci B zvolíme jeden z možných devíti typů podpor (Kloubový – typ 1 až Kloubový – typ 7, Symetrie nebo Vetknutí) nebo vybereme uživatelsky definovanou liniovou podporu, která nám umožní zadání v tabulce ve spodní části dialogu. Pro okamžitou kontrolu slouží dynamický obrázek, v němž je zobrazeno přesné umístění liniových podpor na jednotlivých vrstvách. Všechny předdefinované liniové podpory jsou vztaženy k lokálnímu souřadnému systému, který je pro modul RF-GLASS definován tak, že osa *x* je ve střednici vybrané linie, osa *y* je v rovině plochy zadané v RFEMu a osa *z* je kolmo na plochu zadanou v RFEMu.



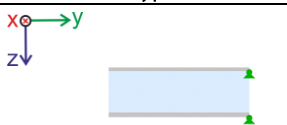
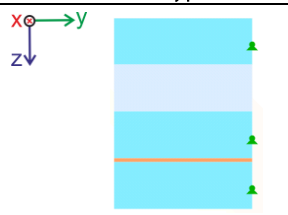
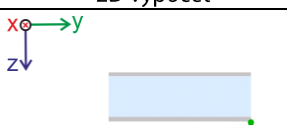
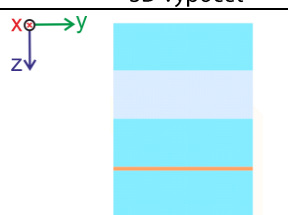
Obr. 3.9: Lokální souřadný systém modulu RF-GLASS


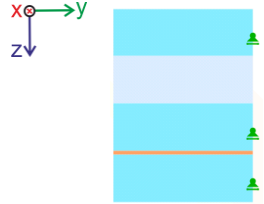

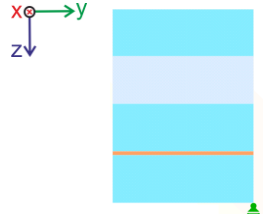
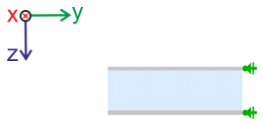
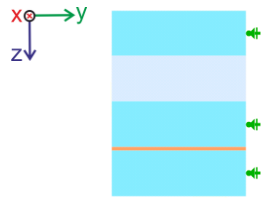

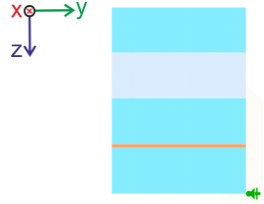

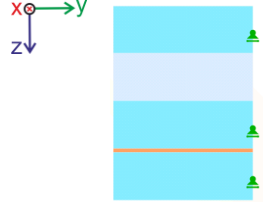
Důležité je upozornit, že pro vrstvené sklo je rozdíl v okrajových podmínkách pro předdefinované liniové podpory typu Kloubový (typ 1, 3, 5, 7) pro případ 2D výpočtu a v případě 3D výpočtu. Pokud výpočet probíhá ve 2D (deskovou teorií), jsou uvedené podpory kloubové, zatímco při 3D výpočtu, kdy jsou všechny vrstvy modelovány tělesy, se jedná o částečná vetknutí, což je patrné z následujícího obrázku:



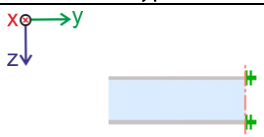
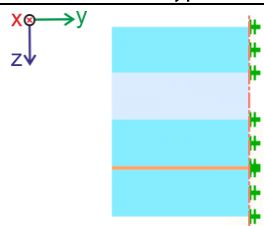
Obr. 3.10: Liniová podpora typu Kloubový – typ 5, vlevo 2D výpočet, vpravo 3D výpočet


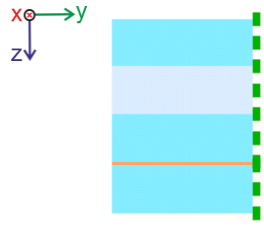
Předdefinované typy podpor jsou zobrazeny a popsány v následující tabulce:

Kloubový – typ 1		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový – typ 2		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Kloubový - typ 3		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový - typ 4		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový - typ 5		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový - typ 6		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový - typ 7		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_x = u_z = 0$ $\varphi_y = \varphi_z = 0$
Symetrie		

Tato okrajová podmínka je nutná pro použití v případech, kdy chceme využít symetrie konstrukce. Nejedná se totiž pouze o správné líniové podpory, ale v případě izolačního skla i o vhodný materiál bočnice, který nezpůsobuje ztužení konstrukce.

2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na všech liniích všech vrstev.</p>	$u_y = 0$ $\varphi_x = \varphi_z = 0$




Vetknutí		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na všech liniích všech vrstev.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_x = \varphi_y = \varphi_z = 0$

Tabulka 3.2: Předdefinované typy líniových podpor

Uživatelsky definované podpory se zadávají ve tabulce ve spodní části dialogu, viz Obr. 3.8, na vrstvy typu Sklo, jež tvoří řádky této tabulky. Vybereme místo, kde bude podpora umístěna a zvolíme vztahný systém. Na výběr je lokální souřadný systém modulu RF-GLASS, který je definován přímo v dialogu, nebo globální souřadný systém. Dále se v tabulce zadávají případná natočení lokálního souřadného systému kolem osy x o úhel β a jednotlivé stupně volnosti.

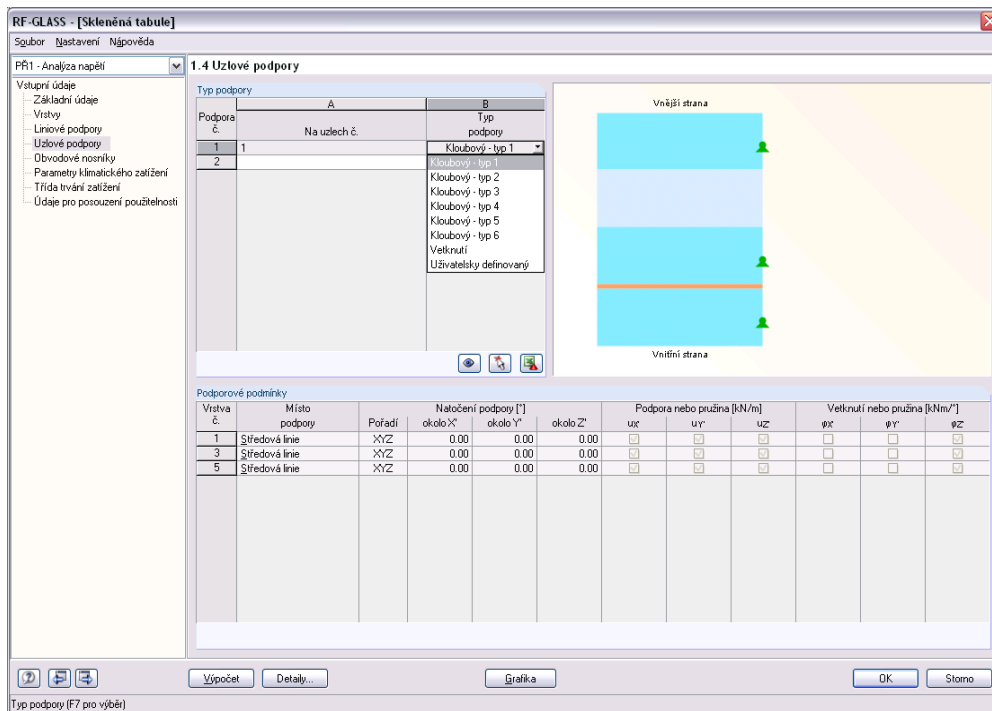
Stejně jako u předdefinovaných podpor i zde je pro okamžitou kontrolu na obrázku v dialogu zobrazena vybraná linie s právě zvolenými líniovými podporami.

V tabulce 1.3 má uživatel k dispozici tři tlačítka, která mají následující funkce:

Tlačítko	Název	Funkce
	Skok do grafiky pro změnu zobrazení	Slouží k otevření pracovního okna RFEMu ke grafické kontrole, aniž se zavře modul RF-GLASS.
	Vybrat linii v grafice a přejít na příslušný řádek v tabulce	Umožňuje zvolit linii graficky v pracovním okně RFEMu.
	Exportovat do Microsoft Excel nebo Open Office.org Calc	Exportuje obsah aktuálně otevřené tabulky do MS Excelu, resp. do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org → kapitola 7.3, strana 58.

Tabulka 3.3: Tlačítka v tabulce 1.3 Líniové podpory

3.4 Uzlové podpory


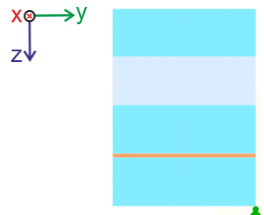

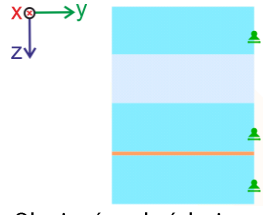

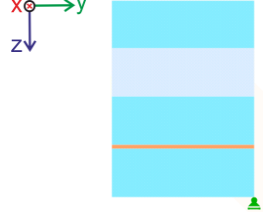

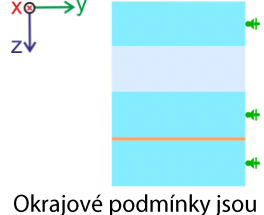
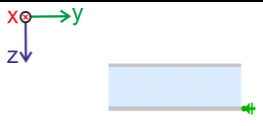
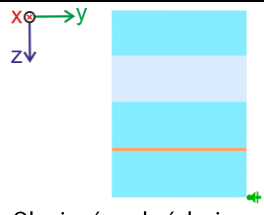



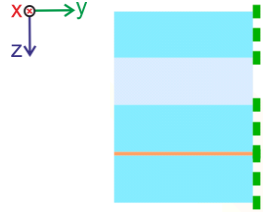
Obr. 3.11: Tabulka 1.4 Uzlové podpory

V tabulce 1.4 se definují uzlové podpory. Ve sloupci A vybereme uzly, na kterých má podpora působit. Ve sloupci B zvolíme jeden z možných předdefinovaných sedmi typů podpor (Kloubový – typ 1 až Kloubový – typ 6 nebo Vetknutí) nebo vybereme uživatelsky definovanou uzlovou podporu, která nám umožní zadání v tabulce ve spodní části dialogu. Pro okamžitou kontrolu zadání slouží dynamický obrázek, ve kterém je zobrazeno přesné umístění uzlových podpor na jednotlivých vrstvách.

Předdefinované typy podpor jsou zobrazeny a popsány v následující tabulce:

Kloubový – typ 1		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	<p>Okrajové podmínky jsou na uzlech ležících na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Kloubový – typ 2		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový – typ 3		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na uzlech ležících na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový – typ 4		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový – typ 5		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na uzlech ležících na střednicích vrstev typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$
Kloubový – typ 6		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na spodní hraně nejnižší vrstvy typu Sklo.</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$

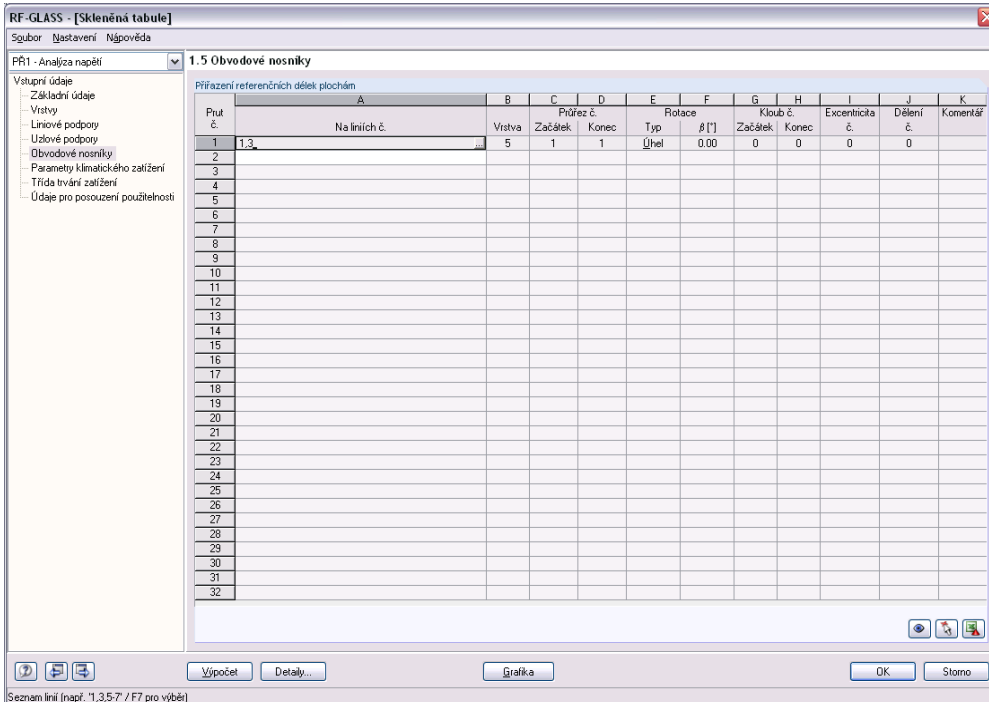
Vetknutí		
2D výpočet	3D výpočet	Okrajové podmínky
	 <p>Okrajové podmínky jsou na uzlech na všech liniích všech vrstev.</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_x = \varphi_y = \varphi_z = 0$

Tabulka 3.4: Předdefinované typy uzlových podpor

Uživatelsky definované podpory se zadávají v tabulce ve spodní části dialogu, viz Obr. 3.11, na vrstvy typu Sklo, jež tvoří řádky této tabulky. Nejprve vybereme místo, kde bude podpora umístěna a zvolíme případné *natočení podpory*. V tabulce se pak dále zadávají jednotlivé stupně volnosti.

Pod tabulkou má uživatel k dispozici shodná tlačítka, jako v tabulce 1.3 *Liniové podpory*, popsána v kapitole 3.3 na straně 23.

3.5 Obvodové nosníky



Prut č.	Na liniích č.	Průřez č.		Rotace		Kloub č.		Excentricita č.	Dělení č.	Komentář
		Vrstva	Začátek	Konec	Typ	β [°]	Začátek			
1	1,3	5	1	1	Úhel	0,00	0	0	0	
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										

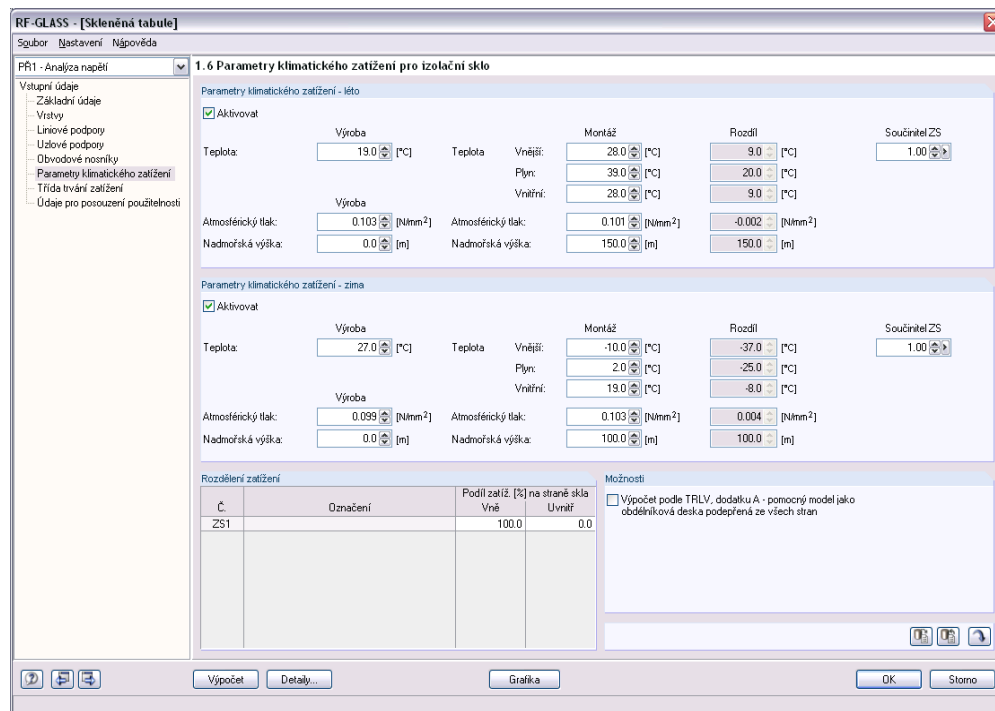
Obr. 3.12: Tabulka 1.5 Obvodové nosníky

V této tabulce se zadávají všechny obvodové nosníky skleněné plochy. Ve sloupci A vybereme *linii*, na které prut leží. Ve sloupci B zvolíme *vrstvu*, na jejíž střednici bude nosník umístěn (nabízené jsou pouze vrstvy typu Sklo). Ve sloupcích C a D zvolíme *průřez* prutu, který musíme dříve definovat v RFEMu. Ve sloupcích E a F lze zadat případnou *rotaci* prutu. Sloupce G a H slouží k zadání *kloubů* na koncích prutu. Ve sloupci I můžeme definovat *excentricitu* a ve sloupci J *dělení* prutu. Ve sloupci K pak uživatel může uvést vlastní *komentář*.

Pod tabulkou jsou opět k dispozici tlačítka popsána v kapitole 3.3 na straně 23.

3.6 Parametry klimatického zatížení

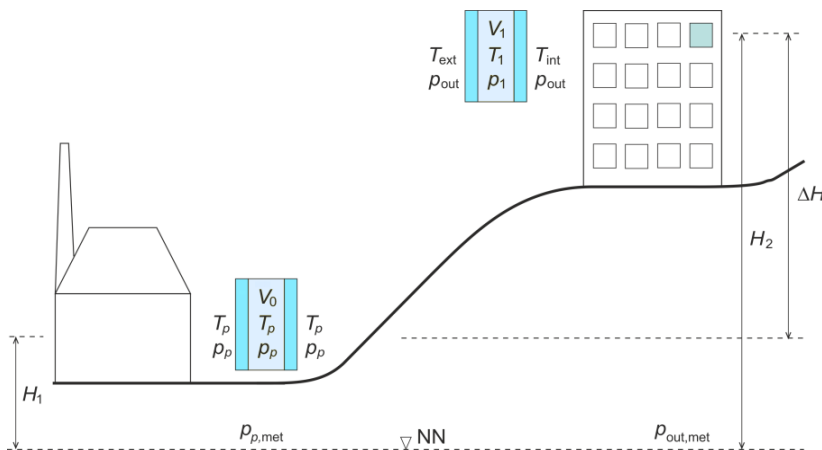
Jak jsme již zmínili v kapitole 3.2 *Vrstvy*, tato tabulka se zobrazí pouze v případě, pokud vytvoříme izolační sklo (tedy v tabulce 1.2 vybereme alespoň jednu vrstvu typu plyn). Na rozdíl od jednovrstvého a vrstveného skla, které můžeme zatížit pouze zatěžovacími stavy definovanými v RFEMu (jejichž zadání probíhá v tabulce 1.1), izolační sklo lze navíc zatížit klimatickým zatížením, které zadáváme právě v tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení*.



Obr. 3.13: Tabulka 1.6 *Parametry klimatického zatížení pro izolační sklo*

Parametry klimatického zatížení jsou rozděleny na letní a zimní. Struktura obou sad parametrů je přitom stejná. Stačí proto jednotlivé parametry klimatického zatížení vysvětlit na příkladu **parametrů klimatického zatížení - léto**.

Nejdříve je třeba zaškrtnout políčko *Aktivovat* u té sady parametrů zatížení, která se bude při posouzení zohledňovat. Na levé straně je třeba uvést podmínky, při kterých bylo sklo vyrobeno - *teplotu, atmosférický tlak a nadmořskou výšku*. Vpravo se pak zadávají stejné parametry, které převažují po *montáži* skla.



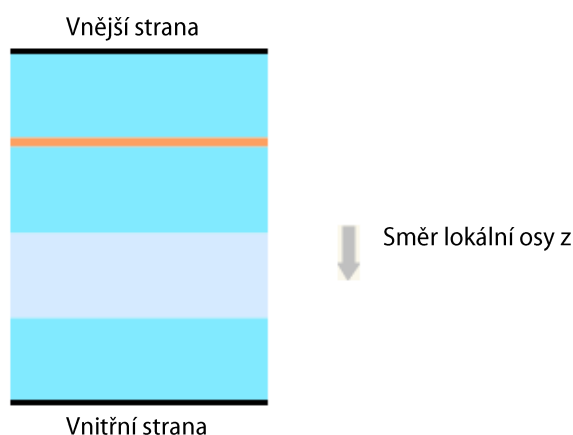
Obr. 3.14: Parametry klimatického zatížení: vlevo výroba, vpravo montáž, NN = střední hladina moře

Teplota, která je při výrobě pro všechny složky izolačního skla stejná, může být pro jednotlivé složky po montáži odlišná. Z tohoto důvodu je nutné pro montáž zadat teplotu vnější, vnitřní a teplotu plynu. Vpravo se pak automaticky zobrazí rozdíly mezi podmínkami po montáži a při výrobě.

Zcela vpravo je pak možné zadat *Součinitel ZS*, kterým bude zadané klimatické zatížení vynásobeno. Následně je pak klimatické zatížení přičteno k vybraným zatěžovacím stavům nebo kombinacím zatížení.

Totéž platí pro *parametry klimatického zatížení - zima*.

Ve spodní části dialogu v tabulce *Rozdělení zatížení* se stanoví, v jakém poměru se zatížení, která jsou definovaná v RFEMu a vybraná pro posouzení v tabulce 1.1 *Základní údaje*, rozdělí na vnější a vnitřní stranu skla. Která strana skla se považuje za vnější a která za vnitřní je zobrazeno v tabulce 1.2 *Vrstvy*, viz následující obrázek.





Obr. 3.15: Vnější a vnitřní strana izolačního skla

Pro speciální modely můžeme použít zjednodušený výpočet podle DIN 18008-2:2010-12, dodatku A nebo německé technické směrnice TRLV, dodatku A, zaškrtnutím příslušného políčka. Musí však být splněny následující podmínky:

- obdélníková plocha bez otvorů
- právě jedna vrstva typu Plyn
- na všech obvodových liniích je liniová podpora typu Kloubový – typ 7
- pouze plošné zatížení

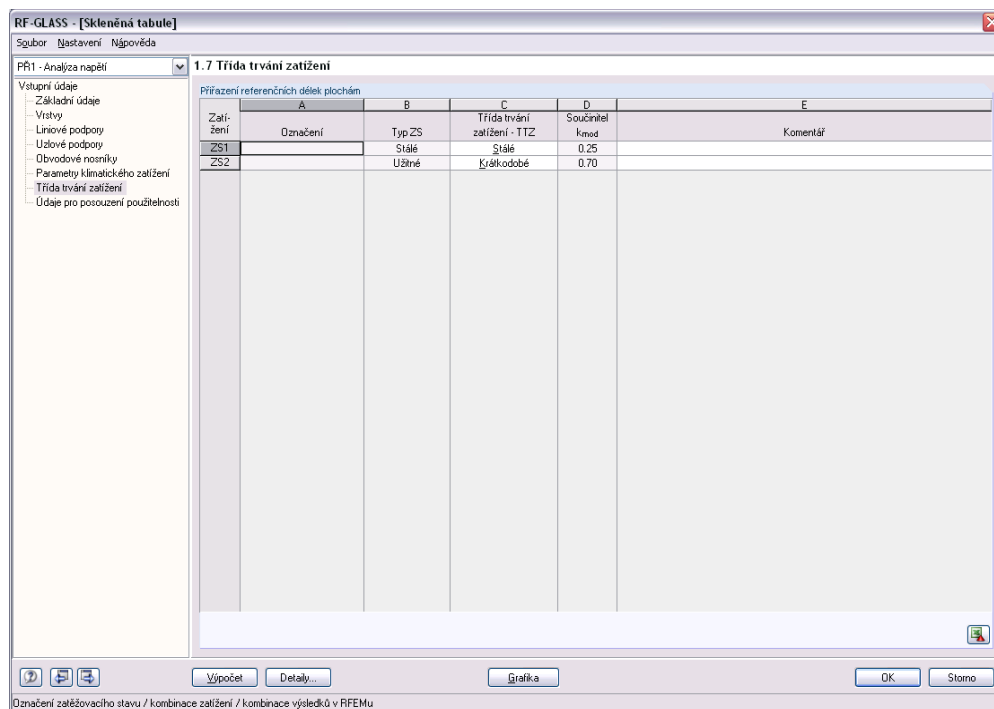
Pro výpočet podle TRLV, dodatku A je vždy použita Kirchhoffova teorie a lineární výpočet podle teorie I. řádu. [1], [2], [5]

Vpravo dole jsou pak k dispozici tři tlačítka, která mají následující funkce:

Tlačítko	Název	Funkce
	Standard	Slouží k nastavení parametrů klimatického zatížení podle dříve uloženého standardu
	Nastavit jako standard	Umožňuje uložit právě nastavené parametry klimatického zatížení jako standard. Ty pak lze přechodím tlačítkem [Standard] načíst do jakéhokoli případu v modulu RF-GLASS.
	Načíst přednastavené hodnoty Dlubal	Nastaví parametry klimatického zatížení na původní hodnoty Dlubal, které se řídí normou DIN 18008-2:2010-12, tab. 3.

Tabulka 3.5: Tlačítka v tabulce *Parametry klimatického zatížení*

3.7 Třída trvání zatížení



Zatížení	A	B	C	D	E
	Označení	Typ ZS	Třída trvání zatížení - TTZ	Součinitel k _{mod}	Komentář
ZS1		Stálé	Stálé	0.25	
ZS2		Užité	Krátkodobé	0.70	

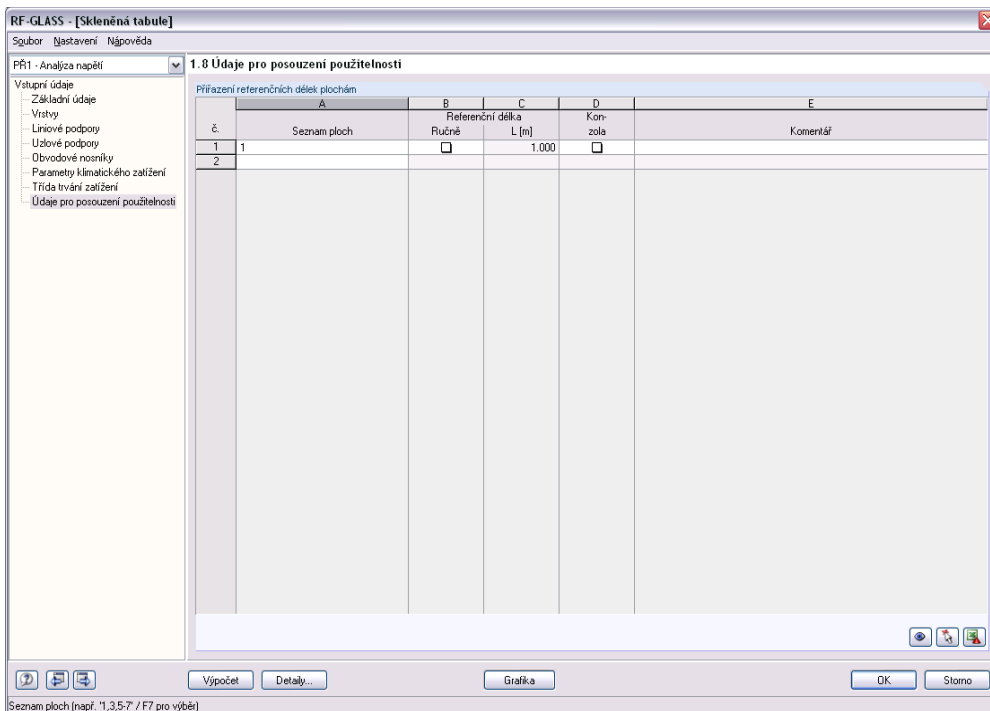
Obr. 3.16: Tabulka 1.7 Třída trvání zatížení

Pokud se v tabulce 1.2 *Vrstvy* zaškrtně políčko *Modifikační součinitel* k_{mod} , zobrazí se tabulka 1.7 *Třída trvání zatížení*. Zde se zobrazí všechny zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků vybrané k posouzení v tabulce 1.1. Ve sloupci A a B se zobrazí *Označení* a *Typ ZS* definovaný v RFEMu. Ve sloupci C se u zatěžovacích stavů nastavuje *Třída trvání zatížení TTZ*, kdy zařazení do různých tříd se řídí normou DIN 18008-2:2010-12, tab. 6. Klasifikace kombinací zatížení se automaticky řídí rozhodujícím zatížením. Po vyplnění sloupce C se automaticky doplní příslušný součinitel k_{mod} , který lze přenastavit v dialogu *Detaily* v záložce *Posouzení*.

Vpravo dole je pak k dispozici tlačítko [Exportovat do Microsoft Excel nebo Open Office.org Calc].



3.8 Údaje pro posouzení použitelnosti



RF-GLASS - [Skleněná tabule]

Soubor Nastavení nápověda

PF11 - Analýza napětí

Vstupní údaje

- Základní údaje
- Vratky
- Liniové podpory
- Ústřední podpory
- Obvodové nosníky
- Parametry klimatického zatížení
- Třída trvání zatížení
- Údaje pro posouzení použitelnosti

1.8 Údaje pro posouzení použitelnosti

Přifazení referenčních délek plochám

	A	B	C	D	E
č.	Seznam ploch	Referenční délka Ručně	Referenční délka L [m]	Konzola	Komentář
1	1	<input type="checkbox"/>	1,000	<input type="checkbox"/>	
2					

Výpočet Detaily... Grafika OK Storno

Seznam ploch (např. '1,3,5-7' / F7 pro výběr)

Obr. 3.17: Tabulka 1.8 Údaje pro posouzení použitelnosti

Poslední vstupní tabulkou je 1.8 *Údaje pro posouzení použitelnosti*. Ve sloupci A se nastaví jednotlivé plochy, ve sloupci B se pak zvolí, zdali chceme *referenční délku L* zadat ručně, či nikoliv. Pokud není zaškrtnuto políčko ručně, nastaví se automaticky délka nejdelší okrajové linie příslušné plochy. Ve sloupci D pak volíme, zdali se jedná o konzolu a do sloupce E může uživatel napsat vlastní *komentář*.

Všechny uvedené údaje jsou důležité pro správné použití mezních deformací. Zkontrolovat, případně upravit tyto hodnoty lze v dialogu *Detaily* v záložce *Posouzení* (viz kapitola 4.1.2, strana 38).

4. Výpočet

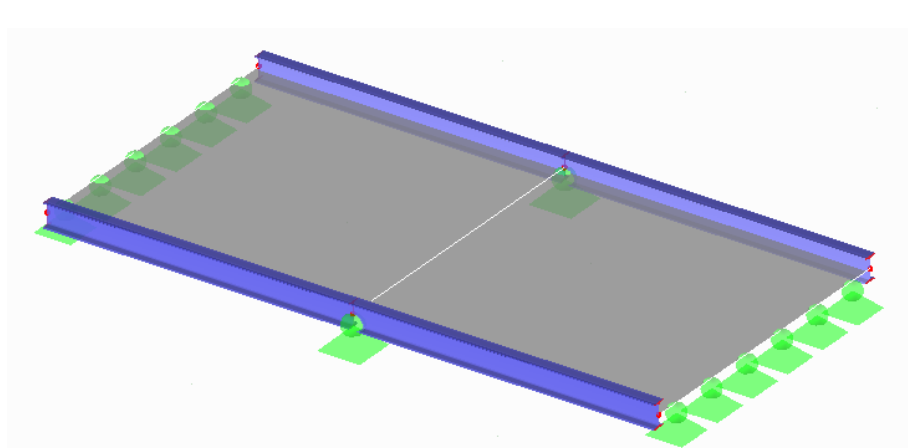
Výpočet

Detaily...

Před spuštěním výpočtu (pomocí stejnojmenného tlačítka) je nutné ještě zkontrolovat detailní nastavení pro posouzení. Příslušný dialog, který je popsán v následující kapitole, otevřeme kliknutím na tlačítko [Detaily...].

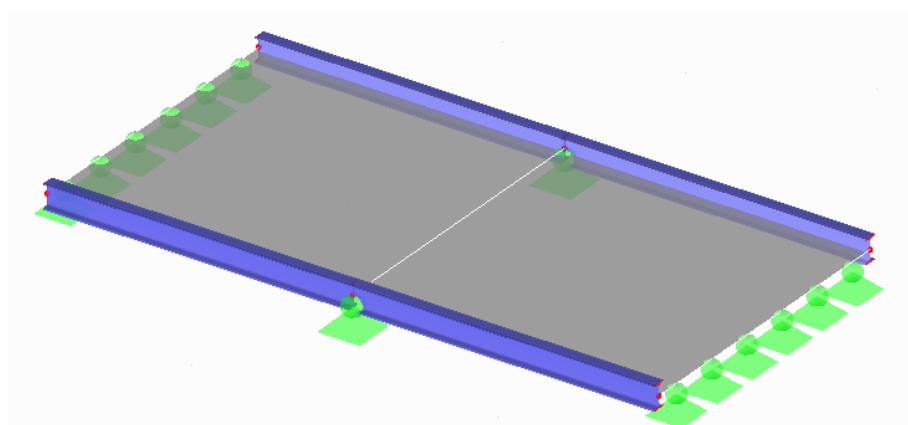
Výpočet ploch vybraných v modulu RF-GLASS je lokální. Jednotlivé plochy jsou počítány samostatně, tj. bez vlivu konstrukce modelované v RFEMu.

Na následujícím příkladu je ukázáno, jak vytvoření modelu v RFEMu ovlivňuje výpočet v modulu RF-GLASS. Uvažujme skleněnou konstrukci podle následujícího obrázku.



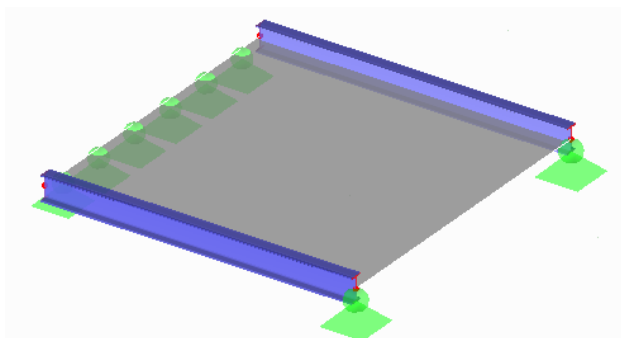
Obr. 4.1: Modelovaná konstrukce

- Model je vytvořen jako jedna plocha. Uprostřed je vložena pouze linie. Výpočet tak probíhá na modelu, který je zobrazen na následujícím obrázku, tedy stejném modelu, jaký byl vytvořen v RFEMu.

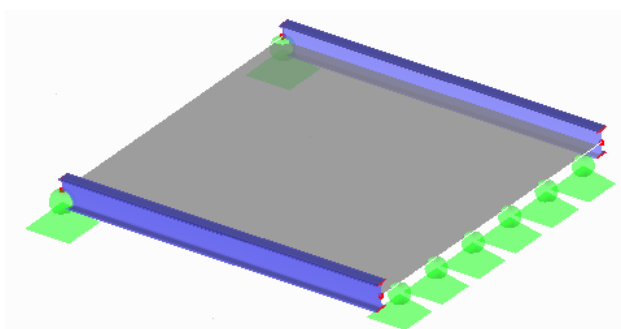


Obr. 4.2: Model z RF-GLASS v případě jedné plochy typu Sklo

- Zdánlivě stejná konstrukce by mohla být vytvořena pomocí dvou ploch. V tom případě jsou však vytvořeny dva samostatné modely, viz Obr. 4.3 a Obr. 4.4. Z obrázků je patrné, že podpory či nosníky, které jsou vytvořeny na společné linii či uzlech (v našem případě uzlové podpory), jsou platné pro obě plochy.



Obr. 4.3: Model plochy č. 1 z RF-GLASS








Obr. 4.4: Model plochy č. 2 z RF-GLASS

4.1 Detaily

Z důvodu přehlednosti je dialog *Detaily* rozdělen do následujících záložek:

- *Výpočet / modelování*
- *Posouzení*
- *Napětí*
- *Výsledky*

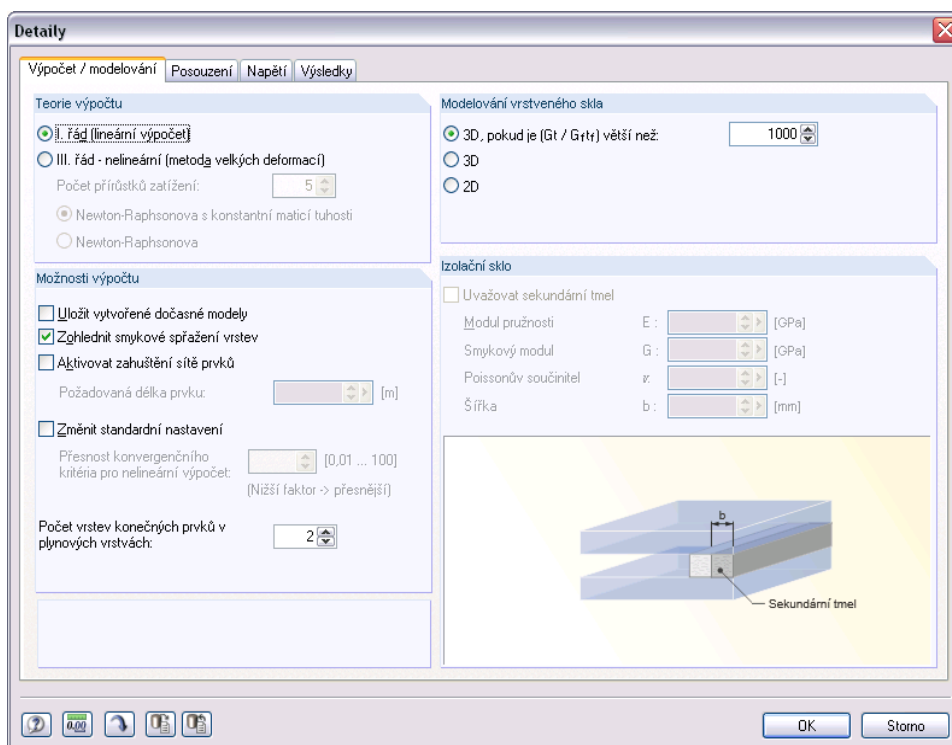
Pro všechny záložky jsou společná následující tlačítka:

Tlačítko	Název	Funkce
	Nápověda	Vyvolá online nápovědu modulu RF-GLASS.
	Jednotky a desetinná místa...	Otevře dialog <i>Jednotky a desetinná místa...</i> , kde je možné nastavit jednotky pro modul RF-GLASS.
	Přednastavení standardních hodnot Dlubal	Nastaví všechny hodnoty v dialogu <i>Detaily</i> na původní hodnoty Dlubal.
	Standard	Slouží k nastavení všech parametrů v dialogu <i>Detaily</i> podle dříve uloženého standardu.
	Nastavit jako standard	Umožňuje uložit aktuální nastavení jako standard. Ten pak lze přechodem tlačítkem [Standard] kdykoli načíst do jakéhokoli případu v modulu RF-GLASS.

Tabulka 4.1: Tlačítka v dialogu *Detaily*

4.1.1 Záložka Výpočet / modelování

Záložka *Výpočet / modelování* je první záložkou dialogu *Detaily*. Nyní budou popsány jednotlivé její sekce.



Obr. 4.5: Dialog *Detaily* – záložka *Výpočet / modelování*

Teorie výpočtu

V sekci *Teorie výpočtu* může uživatel vybrat, zdali výpočet proběhne podle teorie I. řádu (lineární výpočet) nebo III. řádu (nelineární – teorie velkých deformací). Přednastaven je lineární výpočet podle teorie I. řádu. Pokud však vytvoříme sklo izolační (s mezivrstvou plynu), automaticky se nastaví teorie III. řádu a deaktivuje se lineární teorie I. řádu, viz Obr. 4.6. Mezivrstva plynu zavádí do modelu nelinearitu, která vede k rozdílům mezi I. a III. řádem i pro malé hodnoty zatížení. Z toho důvodu je vybrán implicitně III. řád, který dává přesnější výsledky. Iterační výpočet objemových prvků pak probíhá NEWTON-RAPHSONOVOU metodou nebo NEWTON-RAPHSONOVOU metodou s konstantní maticí tuhosti.

Možnosti výpočtu

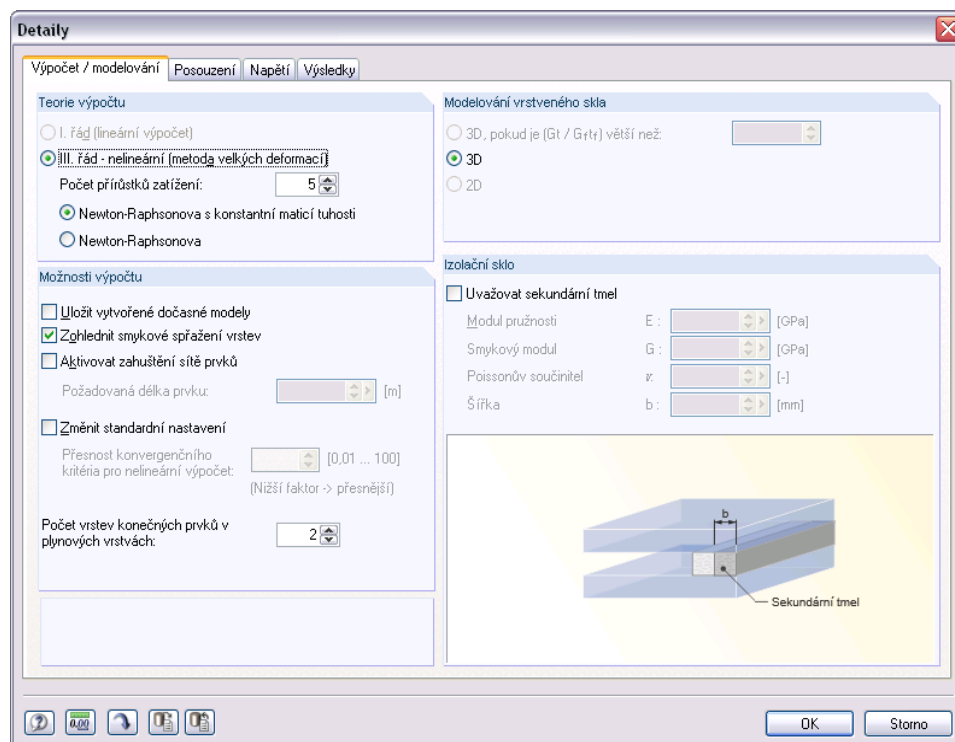
V sekci *Možnosti výpočtu* je možné zaškrtnutím políčka *Uložit vytvořené dočasné modely* uložit modely vytvořené modulem RF-GLASS. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3 *Liniové podpory* na straně 23, podpory a obvodové nosníky se zadávají přímo v modulu RF-GLASS, aby nedošlo k ovlivnění zbylé konstrukce modelované v RFEMu. Zaškrtnutím zmíněného políčka má tedy uživatel možnost graficky zkontrolovat vytvořené modely s podporami a nosníky zvolenými v modulu RF-GLASS a vstupujícími do výpočtu.

Dalším políčkem je *Zohlednit smykové spřažení vrstev*. Toto políčko je přednastaveno jako zaškrtnuté, což znamená, že se uvažuje únosnost ve smyku spojovací fólie. O smykovém spřažení vrstev bylo zmíněno již v kapitole 2.2.2 *Vrstvené sklo* na straně 10.

Zaškrtnutím políčka *Změnit standardní nastavení* má uživatel možnost změnit přesnost konvergenčního kritéria pro nelineární výpočet. Přednastavena je zde hodnota 1.0. Minimální přípustnou hodnotou je 0.01, maximální hodnotou 100.

Uživatel má dále možnost aktivovat zahuštění sítě prvků, kdy po zaškrtnutí příslušného políčka jednoduše napíše *požadovanou délku prvku sítě*.

V této sekci je také možné zvolit *Počet vrstev konečných prvků v plynových vrstvách* pro izolační sklo.



Obr. 4.6: Dialog *Detaily* – záložka *Výpočet / modelování* pro izolační sklo

Modelování vrstveného skla

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.1 existují případy, kdy obvyklá 2D teorie dává zkreslené výsledky. Z tohoto důvodu v případě, když je splněno, že $G \cdot t / G_f \cdot t_f$ je menší než daná mez, výpočet probíhá ve 3D. V uvedeném výrazu je G modul pružnosti ve smyku skla, t tloušťka skleněné vrstvy, G_f modul pružnosti ve smyku fólie, t_f tloušťka fólie.

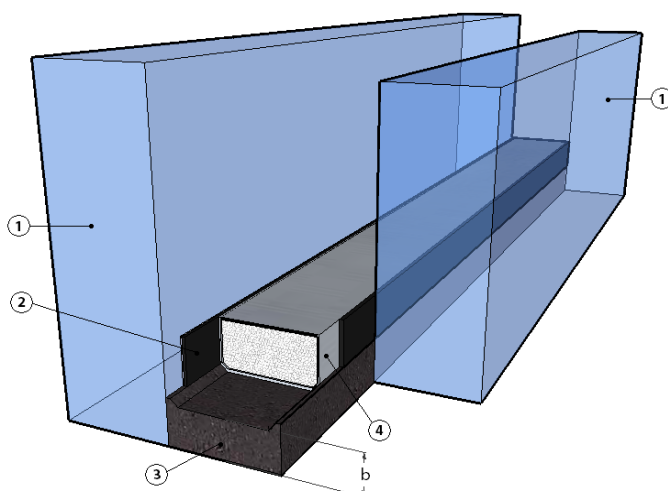
V sekci *Modelování vrstveného skla* je dále možné přímo zvolit, aby výpočet probíhal ve 2D nebo ve 3D. Výsledky 3D výpočtu jsou samozřejmě přesnější, ale časově náročnější.

Pokud uživatel vytvoří izolační sklo (s mezivrstvou plynu), automaticky se nastaví výpočet ve 3D, což je patrné z Obr. 4.6.

Izolační sklo

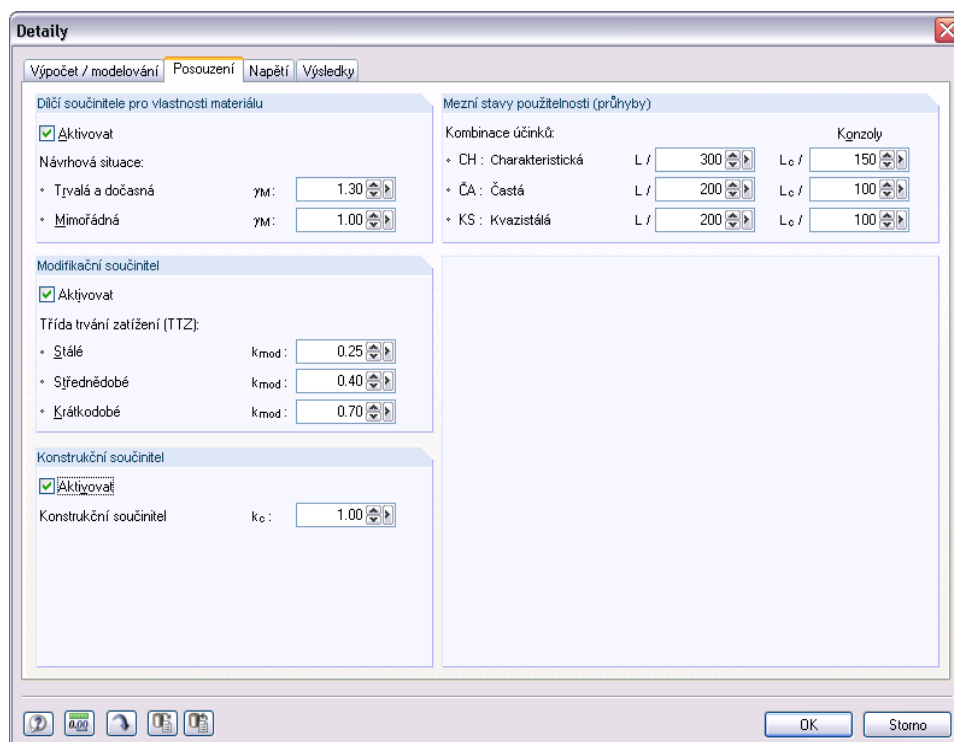
Jestliže uživatel vytvoří izolační sklo může v sekci *Izolační sklo* zaškrtnout políčko *Uvažovat sekundární tmel*. Zde pak může zadat šířku sekundárního tmelu spolu s jeho materiálovými charakteristikami.

Na následující obrázku je pro přehlednost zobrazen popis jednotlivých částí izolačního skla.



Obr. 4.7: Detail izolačního skla: 1 – tabule skla, 2 – primární tmel, 3 – sekundární tmel, 4 – distanční rámeček

4.1.2 Záložka Posouzení

Obr. 4.8: Dialog *Detaily* – záložka *Posouzení*

Dílčí součinitele pro vlastnosti materiálu

V této sekci může uživatel aktivovat a následně přepsat dílčí součinitele pro vlastnosti materiálu γ_M pro nabízené návrhové situace. Ty jsou jednotlivým zatěžovacím stavům, kombinacím zatížení a kombinacím výsledků přiřazeny v tabulce 1.1 *Základní údaje* v záložce *Mezní stav únosnosti* (viz kapitola 3.1.1, strana 18).

Modifikační součinitel

Podle *třídy trvání zatížení* jsou zde uvedeny hodnoty modifikačního součinitele k_{mod} , které se řídí normou DIN 18008-2:2010-12, tab. 6. Uživatel se zde nabízí možnost přepsat číselné hodnoty modifikačního součinitele. Ten je pak přiřazen k jednotlivým zatě-

žovacím stavům podle odpovídající třídy trvání zatížení v tabulce 1.7 *Třída trvání zatížení* (viz kapitola 3.7, strana 32).

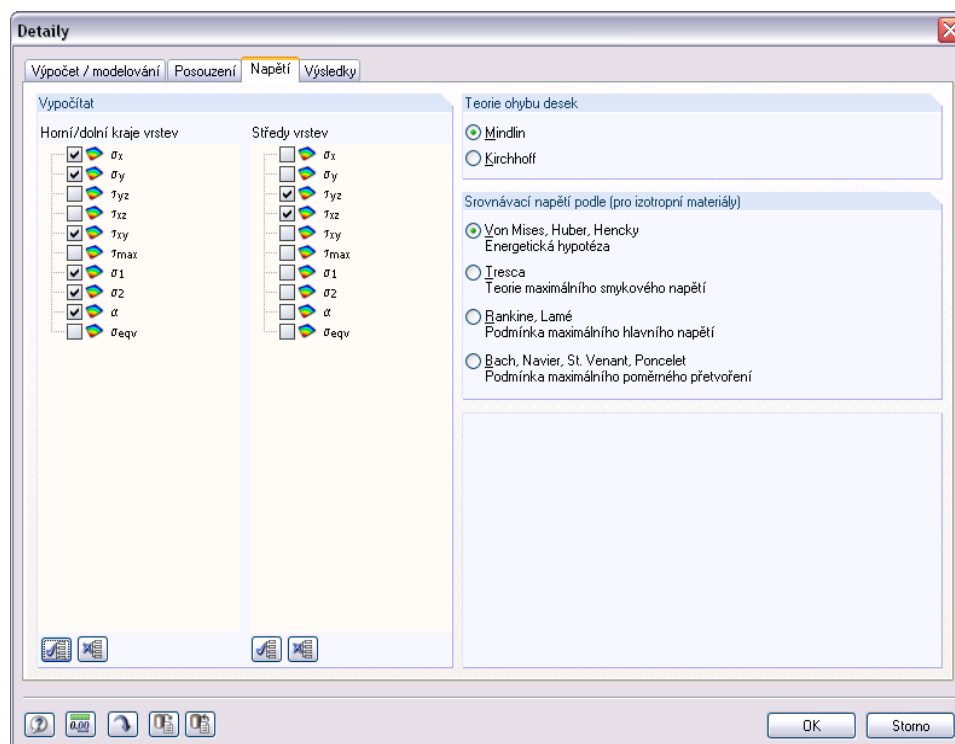
Konstrukční součinitel

V sekci *Konstrukční součinitel* může uživatel aktivovat jeho použití a nastavit požadovanou hodnotu.

Mezní stavy použitelnosti (průhyby)

V šesti následujících polích se stanovují mezní hodnoty přípustných průhybů. Lze tak zadat specifické údaje pro různé kombinace účinků (charakteristickou, častou a kvazistálou) a pro plochy podepřené po obou stranách či pouze na straně jedné. Zatěžovacím stavům, kombinacím zatížení a kombinacím výsledků se přiřazují kombinace účinků v záložce *Mezní stav použitelnosti* v tabulce 1.1 *Základní údaje* (viz kapitola 3.1.2, strana 19). Referenční délky L jsou zadávány pro jednotlivé plochy v tabulce 1.8 *Údaje pro posouzení použitelnosti* (viz kapitola 3.8, strana 33).

4.1.3 Záložka Napětí

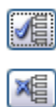


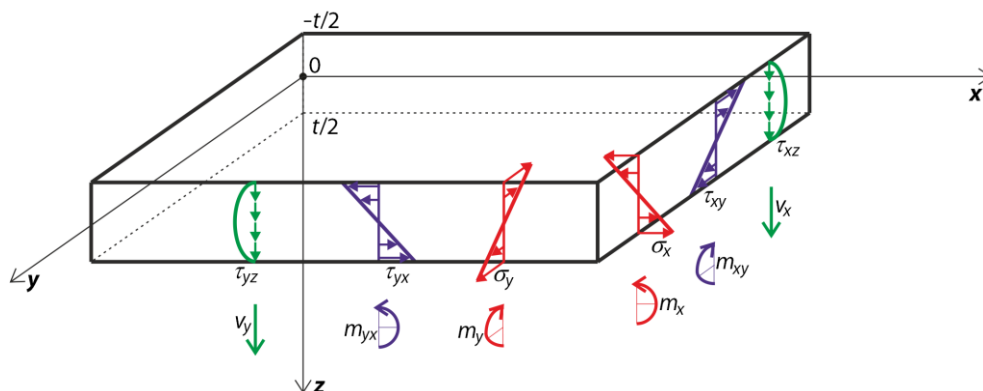
Obr. 4.9: Dialog *Detaily* – záložka *Napětí*

Zobrazit

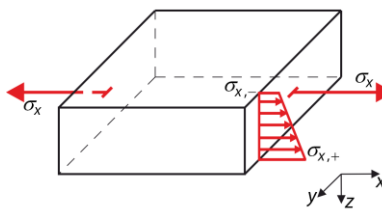
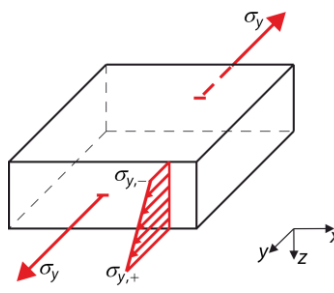
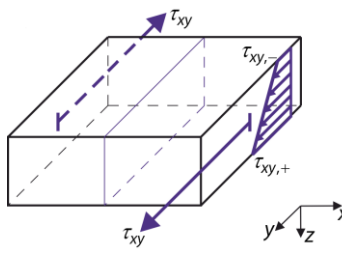
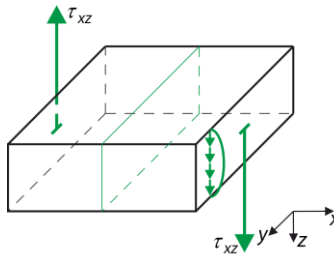
V této sekci uživatel pomocí zaškrtnutých políček zvolí, která napětí chce zobrazit ve výsledkových tabulkách. Napětí jsou přitom rozdělena zvlášť pro středy jednotlivých vrstev a pro horní/dolní kraje vrstev. Pro ulehčení výběru jsou k dispozici tlačítka [Vybrat vše] a [Zrušit výběr všeho].

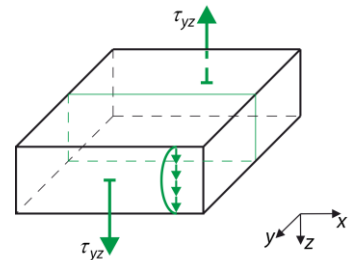
Základní napětí σ_x , σ_y , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} jsou vypočítána metodou konečných prvků v RFEMu, ostatní napětí jsou poté dopočítána modulem RF-GLASS z těchto základních napětí. V následující tabulce uvádíme vzorce platné pro jednovrstvou desku.





Obr. 4.10: Základní napětí a znaménková konvence u jednovrstvé desky namáhané ohybem

σ_x	<p>Normálové napětí ve směru osy x</p> <ul style="list-style-type: none"> • na kladné straně plochy je napětí rovno $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{t} + \frac{6m_x}{t^2}$, kde t = tloušťka desky <ul style="list-style-type: none"> • na záporné straně plochy je napětí rovno $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{t} - \frac{6m_x}{t^2}$	
σ_y	<p>Normálové napětí ve směru osy y</p> <ul style="list-style-type: none"> • na kladné straně plochy je napětí rovno $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{t} + \frac{6m_y}{t^2}$ <ul style="list-style-type: none"> • na záporné straně plochy je napětí rovno $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{t} - \frac{6m_y}{t^2}$	
τ_{xy}	<p>Smykové napětí v rovině xy</p> <ul style="list-style-type: none"> • na kladné straně plochy je napětí rovno $\tau_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{t} + \frac{6m_{xy}}{t^2}$ <ul style="list-style-type: none"> • na záporné straně plochy je napětí rovno $\tau_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{t} - \frac{6m_{xy}}{t^2}$	
τ_{xz}	<p>Smykové napětí v rovině xz</p> <ul style="list-style-type: none"> • ve středu desky $\tau_{xz} = \frac{3}{2} \frac{v_x}{t}$	

τ_{yz}	<p>Smykové napětí v rovině yz</p> <ul style="list-style-type: none"> • ve středu desky $\tau_{yz} = \frac{3 V_y}{2 t}$	
-------------	---	---

Tabulka 4.2: Základní napětí

V obecném případě se napětí v jednotlivých vrstvách počítají z celkových vnitřních přetvoření desky

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{tot}^T = \left\{ \frac{\partial \varphi_y}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}, \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial x} + \varphi_y, \frac{\partial w}{\partial y} - \varphi_x, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right\} \quad (4.1)$$

Přetvoření v jednotlivých vrstvách jsou spočítána pomocí vztahu

$$\boldsymbol{\varepsilon}(z) = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \\ -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (4.2)$$

kde z je souřadnice ve směru osy z , kde požadujeme znát hodnotu napětí. Jde-li např. o i -tou vrstvu, pak se napětí spočte pomocí vztahu

$$\boldsymbol{\sigma}(z) = \mathbf{d}_i \boldsymbol{\varepsilon}(z) \quad (4.3)$$

kde \mathbf{d}_i je matice tuhosti i -té vrstvy.

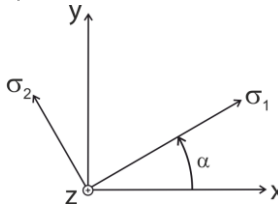
Vliv příčných smykových napětí je vyjádřen veličinou:

τ_{max}	<p>Maximální příčné smykové napětí</p> $\tau_{max} = \sqrt{\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2}$
--------------	--

Tabulka 4.3: Maximální příčné smykové napětí

V následující tabulce jsou uvedeny vztahy pro výpočet hlavních a ekvivalentních napětí. Ve vzorcích je zanedbán vliv smykových napětí τ_{xz} a τ_{yz} .

σ_1	<p>Hlavní napětí</p> $\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$
σ_2	<p>Hlavní napětí</p> $\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$

α	<p>Úhel mezi lokální osou x a směrem prvního hlavního napětí</p> $\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(2\tau_{xy}, \sigma_x - \sigma_y), \quad \alpha \in (-90^\circ, 90^\circ)$ <p>Funkce atan2 je v RFEMu implementována takto</p> $\operatorname{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan \frac{y}{x} & x > 0 \\ \arctan \frac{y}{x} + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan \frac{y}{x} - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ 0 & y = 0, x = 0 \end{cases}$	
	<p>Srovnávací napětí podle Von Mises, Huber, Hencky (Energetická hypotéza)</p> $\sigma_{\text{eqv}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$ <p>Srovnávací napětí podle Tresca (Podmínka maximálního smykového napětí)</p> $\sigma_{\text{eqv}} = \max \left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \frac{ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \right]$ <p>Srovnávací napětí podle Rankine, Lamé (Podmínka maximálního hlavního napětí)</p> $\sigma_{\text{eqv}} = \frac{ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$ <p>Srovnávací napětí podle Bach, Navier, St. Venant, Poncelet (Podmínka maximálního poměrného přetvoření)</p> $\sigma_{\text{eqv}} = \max \left[\frac{1-\mu}{2} \sigma_x + \sigma_y + \frac{1+\mu}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \mu \sigma_x + \sigma_y \right]$	

Tabulka 4.4: Napětí

Teorie ohybu desek

Pro plochy je možné zvolit ohybovou teorii podle:

- Mindlina
- Kirchhoffa

Při výpočtu podle Mindlina se uvažuje smykové přetvoření, zatímco podle Kirchhoffa nikoliv. Ohybová teorie podle Mindlina je vhodná pro masivní desky, podle Kirchhoffa pro relativně tenké desky.

Protože v Kirchhoffově teorii nejsou přesně stanovena smyková napětí τ_{xz} a τ_{yz} , počítají se z podmínek rovnováhy. Vypočítat je pak lze pomocí následujících vztahů

$$\tau_{xz, \max} = \frac{3}{2} \frac{v_x}{t} = 1,5 \frac{v_x}{t} \quad (4.4)$$

$$\tau_{yz,\max} = \frac{3}{2} \frac{V_y}{t} = 1,5 \frac{V_y}{t} \quad (4.5)$$

Srovnávací napětí podle (pro izotropní materiály)

Srovnávací napětí lze určit čtyřmi různými způsoby:

Srovnávací napětí podle Von Mises, Huber, Hencky (Energetická hypotéza)

Tato hypotéza napětí je známá jako HMM, hypotéza VON MISESOVA, případně též jako energetická podmínka. Srovnávací napětí podle této hypotézy je počítáno pomocí vztahu

$$\sigma_{\text{eqv}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (4.6)$$

Srovnávací napětí podle Tresca (Teorie maximálního smykového napětí)

Toto srovnávací napětí je obecně definováno pomocí vztahu

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_1 - \sigma_3|, |\sigma_2 - \sigma_3|) \quad (4.7)$$

což se za podmínky $\sigma_3 = 0$ zjednoduší na

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_1|, |\sigma_2|) \quad (4.8)$$

což vede na rovnici

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max \left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \frac{|\sigma_x + \sigma_y| + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \right] \quad (4.9)$$

Srovnávací napětí podle Rankine, Lamé (Podmínka maximálního hlavního napětí)

Tato hypotéza je označovaná jako hypotéza normálového napětí nebo jako srovnávací napětí podle RANKINA. Rankinovo napětí se obecně definuje jako maximum absolutních hodnot hlavních napětí

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) \quad (4.10)$$

což se za použití vztahu $\sigma_3 = 0$ zjednoduší na

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|) \quad (4.11)$$

což vede na rovnici

$$\sigma_{\text{eqv}} = \frac{|\sigma_x + \sigma_y| + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \quad (4.12)$$

Srovnávací napětí podle Bach, Navier, St. Venant, Poncelet (Podmínka maximálního poměrného přetvoření)

Hypotéza hlavní deformace neboli srovnávací napětí podle BACHA. Ekvivalentní přetvoření je definováno jako maximální protažení, které vznikne ve směru hlavních napětí

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)|, |\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)|, |\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)|) \quad (4.13)$$

což se za použití vztahu $\sigma_3 = 0$ zjednoduší na

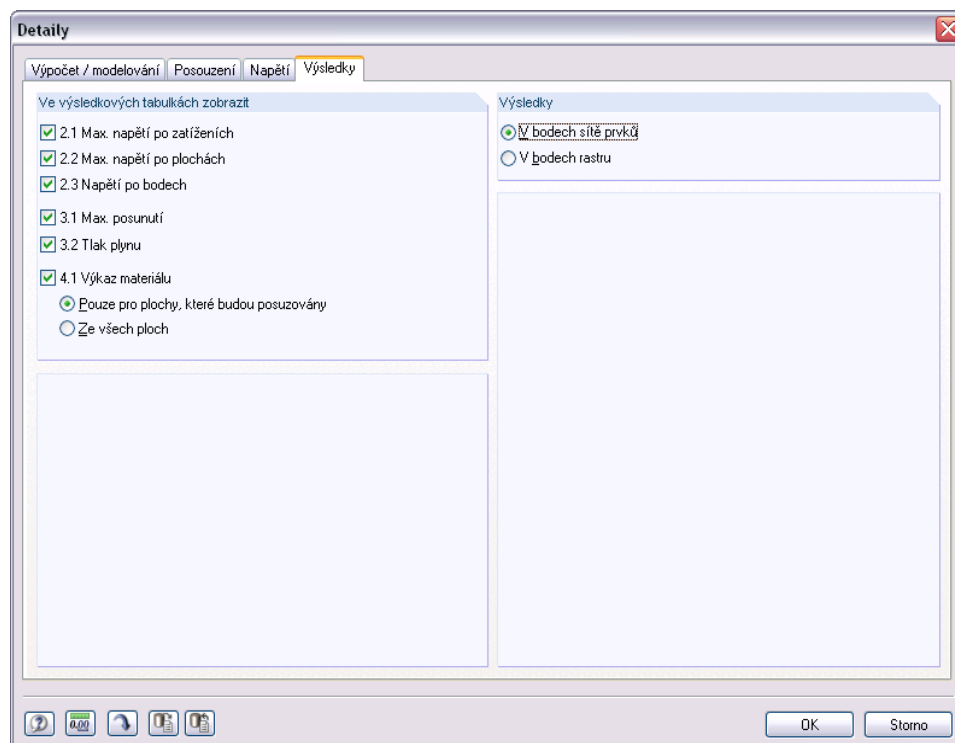
$$\sigma_{\text{eqv}} = \max(|\sigma_1 - \mu\sigma_2|, |\sigma_2 - \mu\sigma_1|, \mu|\sigma_1 + \sigma_2|) \quad (4.14)$$

což vede na rovnici

$$\sigma_{\text{eqv}} = \max\left[\frac{1-\mu}{2}|\sigma_x + \sigma_y| + \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \mu|\sigma_x + \sigma_y|\right] \quad (4.15)$$

Ve vzorcích pro srovnávací napětí je zanedbán vliv smykových napětí τ_{xz} a τ_{yz} .

4.1.4 Záložka Výsledky



Obr. 4.11: Dialog *Detaily* – záložka *Výsledky*

Ve výsledkových tabulkách zobrazit

V této sekci lze nastavit, které tabulky výsledků se mají zobrazit. K dispozici jsou různé tabulky s výslednými hodnotami napětí, posunů a výkazy materiálu, které lze pomocí příslušných zaškrtačkových políček zapnout či vypnout.

Jednotlivé výsledkové tabulky jsou popsány v kapitole 5. *Výsledky* na straně 46.

Výsledky

Napětí a posuny se zobrazují standardně ve všech bodech sítě prvků. Uživatel má však možnost zobrazit výsledky v bodech rastru, které sám definoval a které jsou v RFEMu uloženy jako vlastnost plochy (viz manuál k hlavnímu programu RFEM, kapitola 8.12).

V případě menších ploch může standardní vzdálenost bodů rastru 0.5 m vést k tomu, že na ploše se nachází jen malé množství bodů nebo dokonce jen jediný, počáteční bod rastru. V takovém případě většinou ani nezískáme maximální hodnoty, protože výsledný rastr je příliš hrubý. Vzdálenost rastrových bodů by pak měla být v RFEMu přizpůsobena rozměrům plochy, aby vzniklo více rastrových bodů.

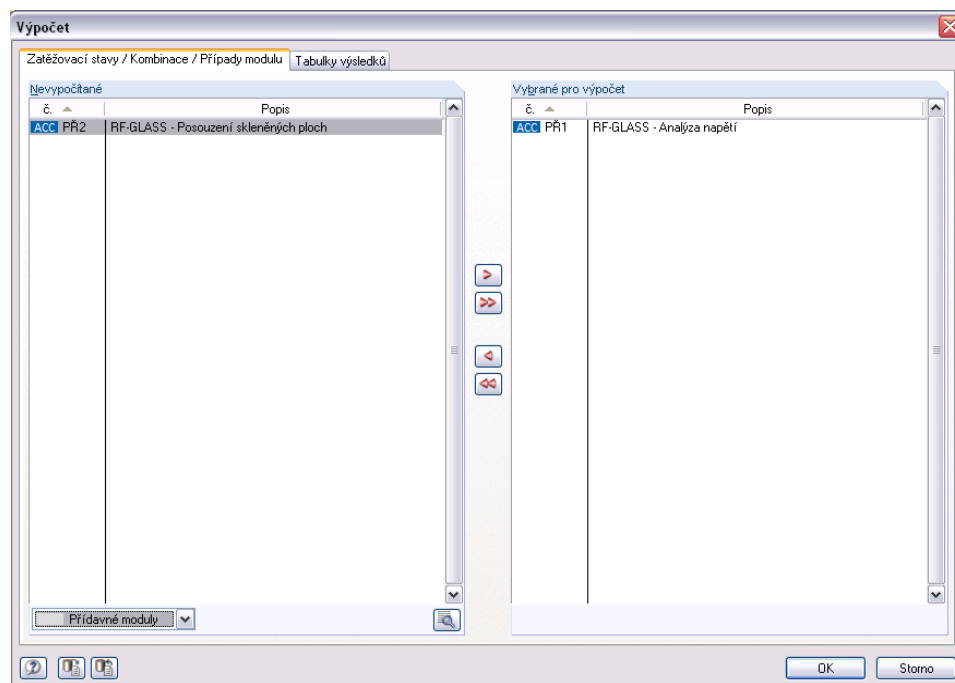
4.2 Spuštění výpočtu

Výpočet

Ve všech vstupních tabulkách modulu RF-GLASS lze spustit výpočet kliknutím na tlačítko [Výpočet].

Výpočet modulu RF-GLASS lze spustit také z uživatelského prostředí RFEMu. Přídavné moduly se zobrazí v dialogu *Výpočet* v seznamu *Zatěžovací stavy / Kombinace / Případy modulů*. Tento dialog otevřeme v RFEMu příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Vybrat pro výpočet....



Obr. 4.12: Dialog *Výpočet* v RFEMu

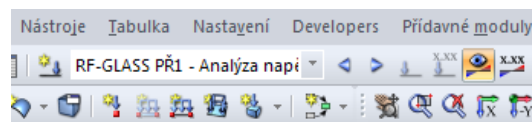
Pokud v seznamu *Nevypočítané* chybí návrhové případy modulu RF-GLASS, je třeba v dolní části dialogu zvolit *Přídavné moduly*.



Tlačítkem [▶] převedeme vybrané návrhové případy do seznamu vpravo. Výpočet pak spustíme pomocí tlačítka [OK].



Výpočet určitého návrhového případu modulu RF-GLASS lze spustit také z panelu nástrojů. V seznamu nastavíme požadovaný návrhový případ a následně klikneme na tlačítko [Zapnout/vypnout výsledky].



Obr. 4.13: Přímý výpočet návrhového případu modulu RF-GLASS v RFEMu

5. Výsledky












Ihned po skončení výpočtu se zobrazí tabulka 2.1 *Max. napětí po zatíženích*. V dialogu *Detailed* v záložce *Výsledky* lze nastavit, které výsledkové tabulky se mají zobrazit (viz kapitola 4.1.4 na straně 44).

Všechny výsledkové tabulky jsou přístupné z navigátoru modulu RF-GLASS. K listování mezi jednotlivými tabulkami lze opět použít vlevo znázorněná tlačítka [$<$] a [$>$], nebo funkční klávesy [F2] a [F3].

Kliknutím na tlačítko [OK] uložíme všechny vstupní údaje s výsledky a zavřeme modul RF-GLASS, zatímco tlačítkem [Storno] modul ukončíme bez uložení dat.

Ve výsledkových tabulkách je k dispozici celá řada užitečných tlačítek, která mají následující funkce:

Tlačítko	Název	Funkce
	Skok do grafiky pro změnu zobrazení	Slouží k otevření pracovního okna RFEMu ke grafické kontrole, aniž se zavře modul RF-GLASS.
	Vybrat	Otevře pracovní okno RFEMu pro grafický výběr ploch či bodů.
	Zobrazit aktuální výsledky v grafice RFEMu	Znázorní výsledky z aktuálně vybraného řádku v grafickém okně RFEMu na pozadí.
	Zobrazit řádky s poměrem >1	Zobrazí v tabulkách pouze ty řádky, kde využití je >1 .
	Zobrazit barvy v tabulce	Slouží k zobrazení barevného pozadí v tabulkách výsledků podle referenční stupnice.
	Exportovat do Microsoft Excel nebo Open Office.org Calc	Exportuje obsah aktuálně otevřené tabulky do MS Excelu, resp. do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org → kapitola 7.3, strana 58.

Tabulka 5.1: Tlačítka ve výsledkových tabulkách

V této kapitole popíšeme jednotlivé tabulky postupně podle jejich pořadí.

5.1 Max. napětí po zatíženích

RF-GLASS - [Sklenná tabule]

Soubor Nastavení nápověda

PR1 - Analýza napětí

2.1 Max. napětí po zatíženích

Vstupní údaje

- Základní údaje
- Vrstvy
- Linové podpory
- Uzlové podpory
- Obvodové nosníky
- Parametry klimatického zatížení
- Třída trvání zatížení
- Údaje pro posouzení použitelnosti

Výsledky

- Max. napětí po zatíženích
- Max. napětí po plochách
- Napětí po bodech
- Max. posunutí
- Tlak plynu
- Výkaz materiálu

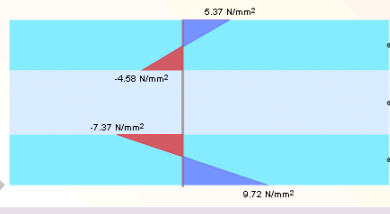
Zatížení	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
	Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			č.	Vrstva z [mm]	Strana	Symbol	Napětí [N/mm ²]	Hodnota	Limit	Využití [-]
ZS1	Lehni												
1	61	0.500	-0.500	0.000	3	26.00	dolní	σ_x	9.72	12.50	0.78		
1	61	0.500	-0.500	0.000	3	26.00	dolní	σ_y	9.72	12.50	0.78		
1	100	0.000	-0.900	0.000	3	22.00	střední	τ_{yz}	-0.33				
1	20	0.900	0.000	0.000	3	22.00	střední	τ_{xz}	0.33				
1	1	0.000	0.000	0.000	3	18.00	horní	τ_{xy}	-6.46				
1	61	0.500	-0.500	0.000	3	26.00	dolní	σ_1	9.72	12.50	0.78		
1	61	0.500	-0.500	0.000	3	26.00	dolní	σ_2	9.72	12.50	0.78		
1	116	0.500	-1.000	0.000	1	4.00	střední	σ	90.00				
ZS1	Zimní												
1	61	0.500	-0.500	0.000	1	8.00	dolní	σ_x	9.60	30.00	0.32		
1	61	0.500	-0.500	0.000	1	8.00	dolní	σ_y	9.60	30.00	0.32		
1	100	0.000	-0.900	0.000	1	4.00	střední	τ_{yz}	-0.32				
1	20	0.900	0.000	0.000	1	4.00	střední	τ_{xz}	0.32				
1	1	0.000	0.000	0.000	1	0.00	horní	τ_{xy}	-6.38				
1	61	0.500	-0.500	0.000	1	8.00	dolní	σ_1	9.60	30.00	0.32		
1	61	0.500	-0.500	0.000	1	8.00	dolní	σ_2	9.60	30.00	0.32		

Maximální využití: 0.78 ≤ 1

Napětí - σ_1

Plocha č. 1
ZS1, Lehni
X: 0.500 m
Y: -0.500 m
Z: 0.000 m

Entřemy na ploše
Min: -9.94 N/mm²
Max: 12.60 N/mm²



Směr lokální osy z
↓
dolní

Výpočet Detaily... Grafika OK Storno

Obr. 5.1: Tabulka 2.1 Max. napětí po zatíženích

Pokud výpočet proběhne v pořádku, otevře se tabulka 2.1 *Max. napětí po zatíženích*. V ní se zobrazí maximální hodnoty napětí u každého zatěžovacího stavu, případně každé kombinace zatížení nebo kombinace výsledků, které uživatel vybral k posouzení v tabulce 1.1 *Základní údaje* v záložce *Mezní stav únosnosti*. Čísla zatěžovacích stavů či kombinací zatížení a kombinací výsledků jsou uvedena v záhlaví každého oddílu.

Plocha č.

Tento sloupec obsahuje čísla ploch, u nichž byly při výpočtu zjištěny maximální hodnoty složek napětí. Údaje se zobrazí pro jednotlivé zatěžovací stavy.

Bod č.

V tomto sloupci jsou zobrazena čísla bodů sítě konečných prvků, resp. rastrových bodů, v nichž jsou hodnoty napětí největší. Body rastru představují možnost zobrazit výsledky nezávisle na síti konečných prvků v pravidelných rozestupech, které definoval uživatel. Jejich počet a uspořádání se nastavuje v záložce *Rastr* v dialogu *Upravit plochu* v hlavním programu RFEM.

Detaily...

V dialogu *Detaily* v záložce *Výsledky* lze určit, zda se výsledky mají vyhodnotit v bodech sítě prvků nebo v bodech rastru (viz kapitola 4.1.4, strana 44). Pokud se uživatel rozhodne nastavení změnit, zobrazí se kontrolní dotaz, zda se mají výsledky přepočítat.

Souřadnice bodu

Uvedené globální souřadnice X, Y, Z určují bod s maximální hodnotou daného napětí.

Vrstva

Ve sloupcích F až H je uvedeno číslo vrstvy, z – souřadnice a strana dané vrstvy, na níž se vyskytují maximální hodnoty napětí.

Napětí

Symbol a hodnota

Zde jsou uvedeny maximální hodnoty napětí, jež uživatel vybral v záložce *Napětí* v dialogu *Detaily*. Nachází se zde symbol a odpovídající číselná hodnota.

Limit

Limitní hodnota (mezní napětí) vychází z volby materiálu pro jednotlivé vrstvy v tabulce 1.2 *Vrstvy*.

Pokud je použit modifikační koeficient k_{mod} , konstrukční součinitel k_c nebo součinitel spolehlivosti γ_M , pak z charakteristických hodnot mezních napětí (s indexem k) jsou vypočítány návrhové hodnoty napětí (s indexem d), podle

$$\sigma_{\text{mezní,d}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_c}{\gamma_M} \sigma_{\text{mezní,k}} \quad (5.1)$$

Pokud modifikační součinitel, konstrukční součinitel a součinitel spolehlivosti není použit, uvažuje se $k_{\text{mod}} = 1$, $k_c = 1$ a $\gamma_M = 1$.

Využití

Pro tahové složky napětí σ_x , σ_y , σ_1 a σ_2 se počítá podíl návrhového a mezního napětí, tedy využití. Pokud nebude mezní napětí překročeno, je využití menší nebo rovno 1 a posouzení napětí je splněno. Údaj ve sloupci L tak umožňuje rychle posoudit ekonomičnost návrhu.

Využití se počítá pouze pro kladné (tahové) hodnoty napětí σ_x , σ_y , σ_1 a σ_2 , neboť pro sklo je rozhodující pevnost v tahu - $\sigma_{\text{mezní}}$.

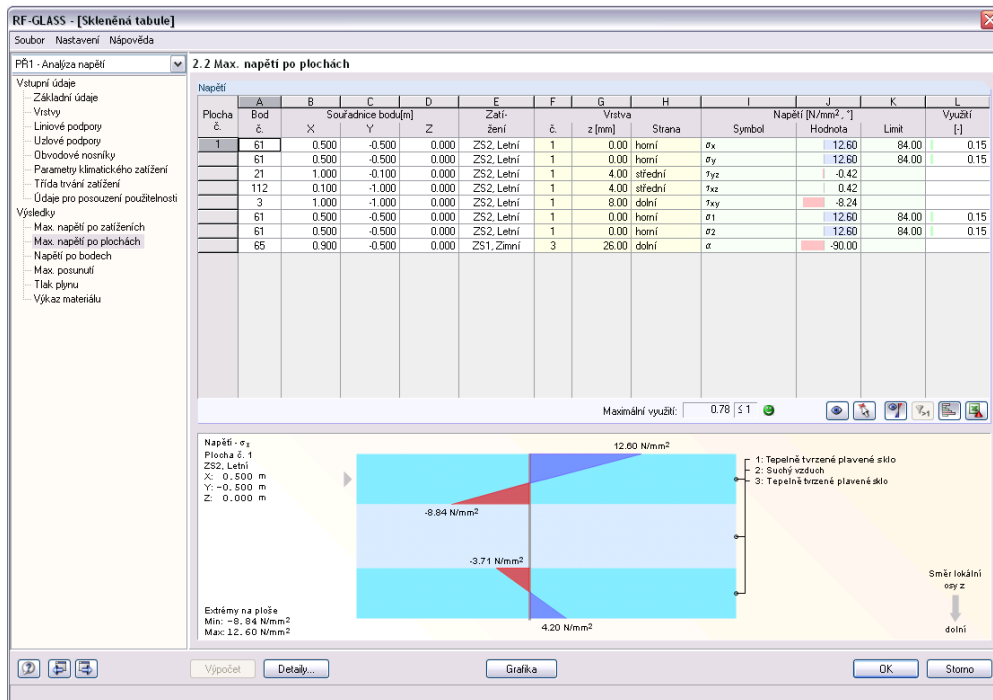
V následující tabulce je uveden výpočet využití.

Napětí [Pa]	Využití [-]
σ_x	$= \frac{\sigma_x}{\sigma_{\text{mezní,d}}}$
σ_y	$= \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{mezní,d}}}$
σ_1	$= \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{mezní,d}}}$
σ_2	$= \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{mezní,d}}}$

Tabulka 5.2: Využití

Maximální využití: ≤ 1 

5.2 Max. napětí po plochách

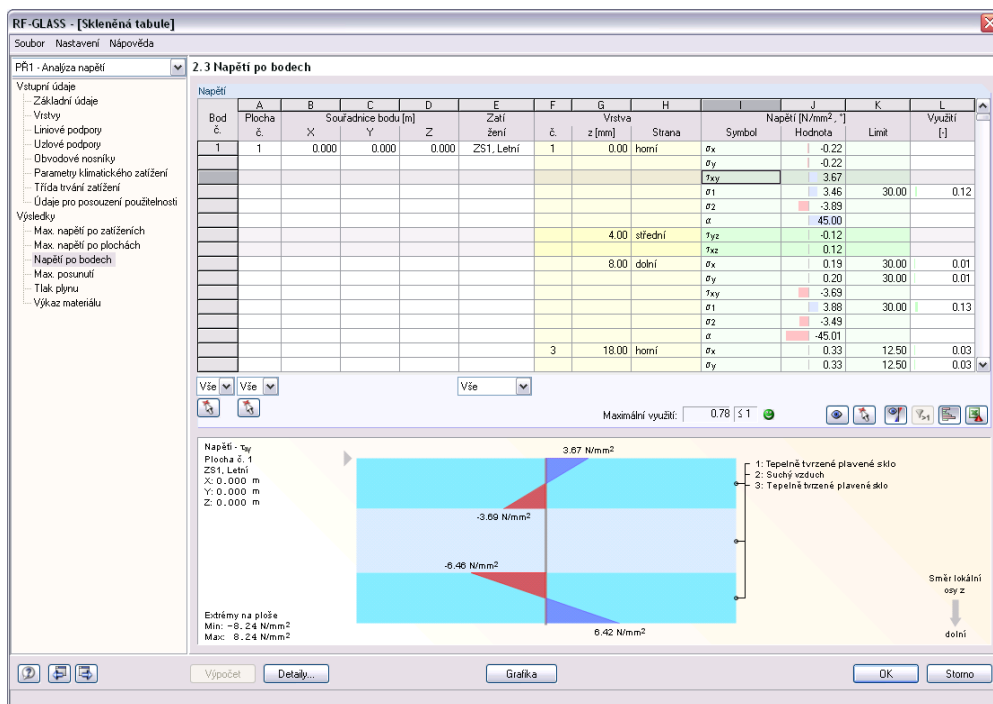


Obr. 5.2: Tabulka 2.2 Max. napětí po plochách

Tato výstupní tabulka obsahuje maximální napětí u každé posouzené plochy. Údaje jsou seřazeny podle jednotlivých ploch.

Jednotlivé sloupce tabulky jsou popsány v kapitole 5.1 Max. napětí po zatíženích na straně 47.

5.3 Napětí po bodech



Obr. 5.3: Tabulka 2.3 Napětí po bodech

Details...



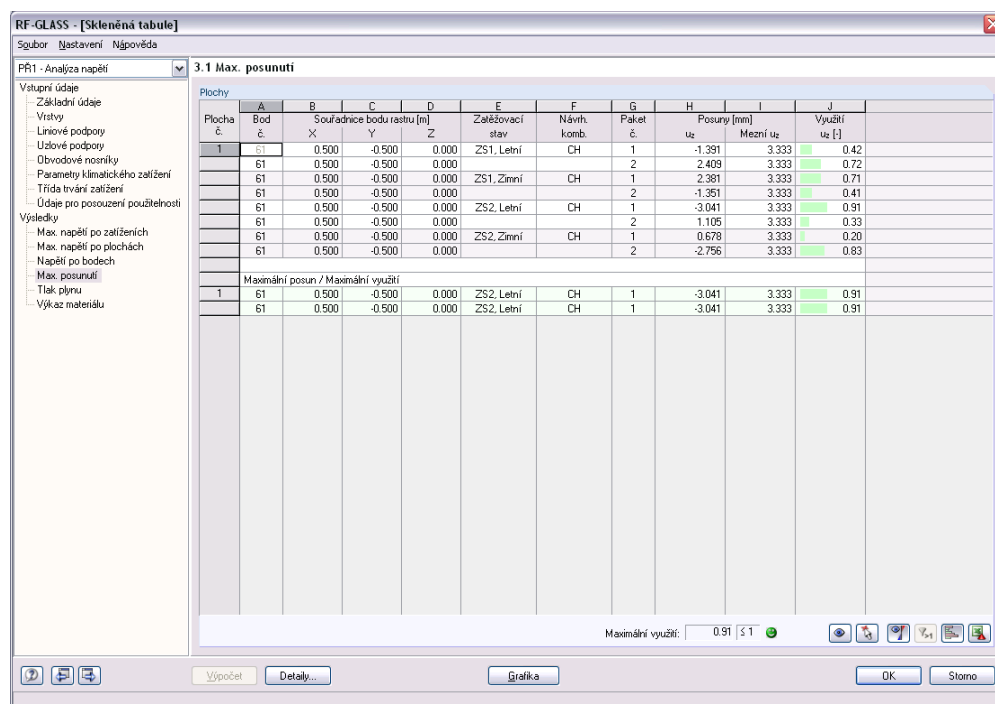
V této tabulce se zobrazí napětí a využití napětí v každém bodu sítě konečných prvků, resp. rastrovém bodu posuzovaných ploch. V dialogu *Details* v záložce *Výsledky* (viz kapitola 4.1.4, strana 44) lze nastavit, zdali chceme výsledky zobrazit v bodech sítě konečných prvků nebo v bodech rastru.

V dialogu *Details* v záložce *Napětí* lze upravit, jaké složky napětí se mají v tabulce zobrazit.

Jednotlivé sloupce tabulky jsou popsány v kapitole 5.1 *Max. napětí po zatíženích* na straně 47.

V případě potřeby je možné údaje v tabulce filtrovat podle čísel bodů sítě konečných prvků, čísel ploch či zatěžovacích stavů. Výběr je možný buď ze seznamů pod příslušným sloupcem, nebo lze konkrétní objekty dané konstrukce vybrat pomocí tlačítka [Vybrat] v grafickém okně.

5.4 Max. posunutí



Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu rastru [m]			Zatěžovací stav	Návrh. komb.	Paket č.	Posuny [mm]		Využití uz. [%]
		X	Y	Z				Mezní uz.	uz. [L]	
1	61	0.500	-0.500	0.000	ZS1, Lehni	CH	1	-1.391	3.333	0.42
	61	0.500	-0.500	0.000			2	2.409	3.333	0.72
	61	0.500	-0.500	0.000	ZS1, Zimní	CH	1	2.391	3.333	0.71
	61	0.500	-0.500	0.000			2	-1.351	3.333	0.41
	61	0.500	-0.500	0.000	ZS2, Lehni	CH	1	-3.041	3.333	0.91
	61	0.500	-0.500	0.000			2	1.105	3.333	0.33
	61	0.500	-0.500	0.000	ZS2, Zimní	CH	1	0.678	3.333	0.20
	61	0.500	-0.500	0.000			2	-2.756	3.333	0.83
Maximální posun / Maximální využití										
1	61	0.500	-0.500	0.000	ZS2, Lehni	CH	1	-3.041	3.333	0.91
	61	0.500	-0.500	0.000	ZS2, Lehni	CH	1	-3.041	3.333	0.91

Obr. 5.4: Tabulka 3.1 *Max. posunutí*

Tato tabulka se zobrazí pouze v případě, že jsme v tabulce 1.1 *Základní údaje* v záložce *Mezní stav použitelnosti* vybrali k posouzení alespoň jeden zatěžovací stav (viz kapitola 3.1.2, strana 19). Zobrazují se zde maximální hodnoty posunů od zatěžovacích stavů, nebo kombinací zatížení či kombinací výsledků, které jsme vybrali pro posouzení mezního stavu použitelnosti.

Údaje jsou seřazeny podle jednotlivých ploch.

Posuny

Ve sloupci *Posuny* vidíme posuny ve směru lokálních os z daných ploch, které jsou rozhodující pro posouzení deformace. Lokální osy ploch lze zobrazit v navigátoru *Zobrazit* v hlavním programu RFEM.

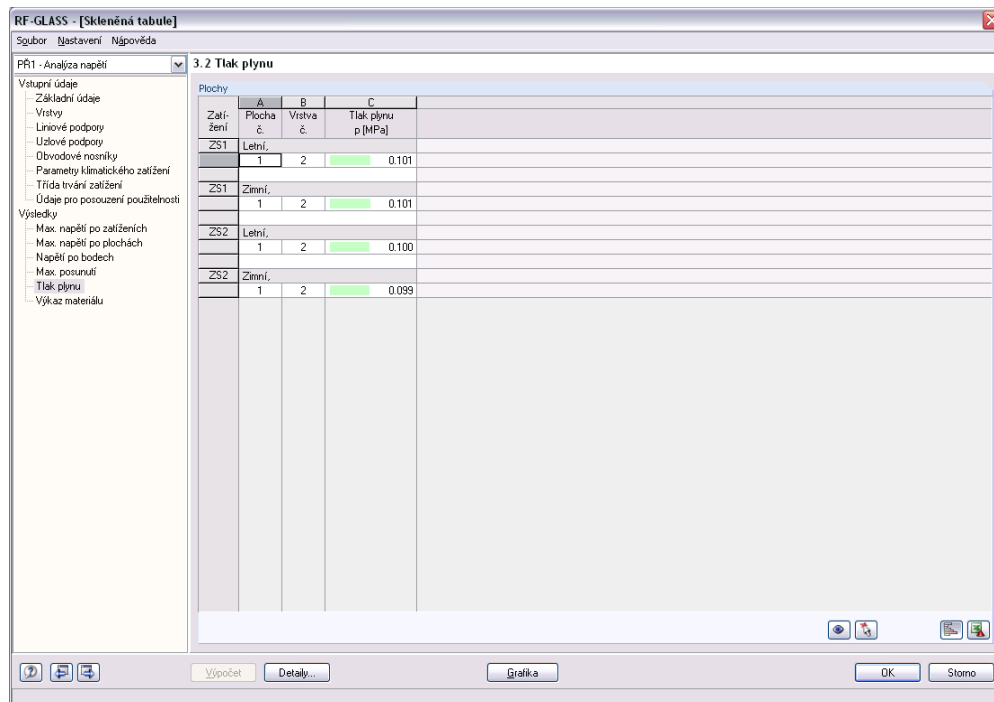
Ve sloupci *I* jsou uvedeny mezní hodnoty deformací, které se stanoví z referenčních délek *L*, které se zadávají v tabulce 1.8 *Údaje pro posouzení použitelnosti*, viz strana 33, a z mezních hodnot definovaných pro posouzení použitelnosti v dialogu *Details* v záložce *Posouzení* (kapitola 4.1.2, strana 38).

Maximální využití: 0.91 ≤ 1 

Využití

V posledním sloupci se zobrazí podíly vypočteného posunu u_z (sloupce H) a mezního posunu (sloupce I). Pokud nebudou mezní deformace překročeny, je využití menší nebo rovno 1 a posouzení deformace je splněno.

5.5 Tlak plynu

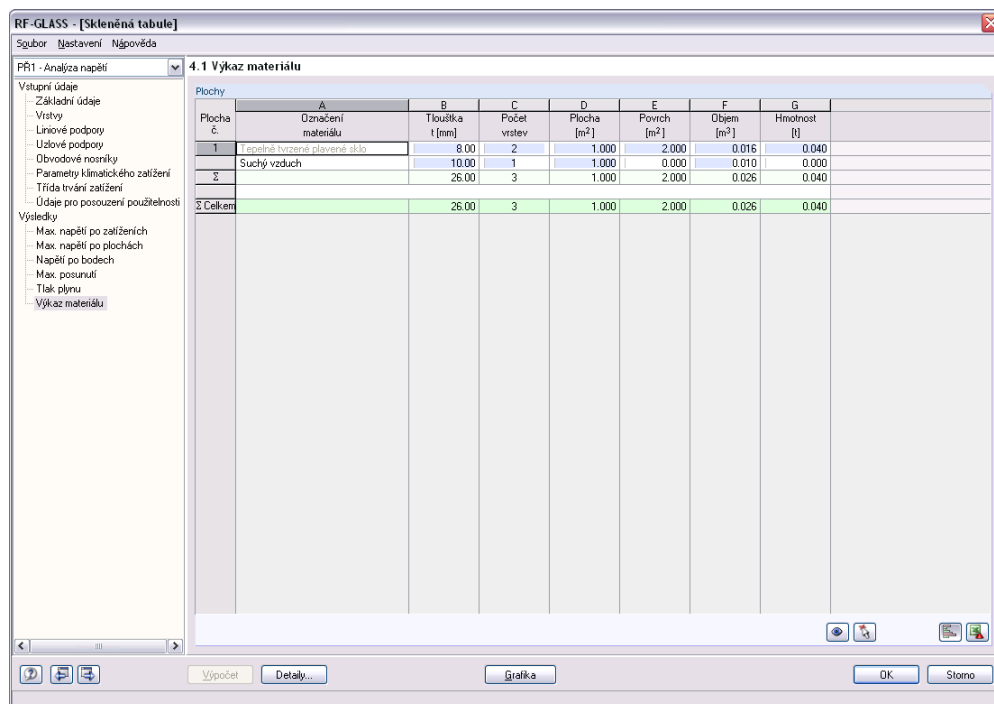


3.2 Tlak plynu			
Plochy			
Zatížení	A Plocha č.	B Vrstva č.	C Tlak plynu p [MPa]
ZS1	Letní,		
	1	2	0.101
ZS1	Zimní,		
	1	2	0.101
ZS2	Letní,		
	1	2	0.100
ZS2	Zimní,		
	1	2	0.099

Obr. 5.5: Tabulka 3.2 Tlak plynu

Výsledková tabulka *Tlak plynu* je vytvořena pouze v případě, pokud v tabulce 1.2 *Vrstvy* je zadána alespoň jedna vrstva typu plyn. V tabulce 3.2 jsou pak pro jednotlivé zatěžovací stavy uvedeny vrstvy typu Plyn s výslednou hodnotou tlaku plynu.

5.6 Výkaz materiálu



Plocha č.	A Označení materiálu	B Tloušťka t (mm)	C Počet vrstev	D Plocha [m ²]	E Povrch [m ²]	F Objem [m ³]	G Hmotnost [t]
1	Sklo bezpečnostní plavené sklo	8.00	2	1.000	2.000	0.016	0.040
2	Suchý vzduch	10.00	1	1.000	0.000	0.010	0.000
3		26.00	3	1.000	2.000	0.026	0.040
Σ	Celkem			1.000	2.000	0.026	0.040

Obr. 5.6: Tabulka 4.1 Výkaz materiálu

Poslední výsledková tabulka podává celkový přehled o plochách v daném návrhovém případě. Standardně se údaje týkají jen posuzovaných ploch. Pokud si přejeme zobrazit výkaz materiálu všech ploch v konstrukci, pak lze nastavení upravit v dialogu *Detaily* v záložce *Výsledky* (kapitola 4.1.4, strana 44).

Plocha č.

Tento sloupec obsahuje čísla jednotlivých ploch.

Označení materiálu

Plochy jsou rozříděny podle materiálů.

Tloušťka

Ve sloupci B se zobrazí tloušťka vrstev t . Tento údaj najdeme také ve vstupní tabulce 1.2 *Vrstvy*.

Počet vrstev

Tento sloupec udává počet vrstev v konstrukci s daným materiálem a danou tloušťkou.

Plocha

Zde se nachází informace o obsahu každé plochy.

Povrch

Povrch plochy se spočítá na základě horní a dolní strany plochy. Postranní plochy se zanedbávají.

Objem

Objem se vypočítá jako součin tloušťky a obsahu plochy.

Hmotnost

V posledním sloupci se zobrazí hmotnost každé plochy. Tento údaj se vypočítá na základě objemu plochy a měrné hmotnosti použitého materiálu.

Celkem

V posledním řádku tabulky vidíme celkové součty jednotlivých sloupců.

6. Výstup

6.1 Výstupní protokol

Jak je běžné v hlavním programu RFEM, pro výsledky posouzení v modulu RF-GLASS se nejdříve vytvoří výstupní protokol, do něhož může uživatel vkládat grafická zobrazení nebo vlastní vysvětlivky. Ve výstupním protokolu lze také vybrat, které tabulky s výsledky z RF-GLASS se vytisknou.

Výstupní protokol je podrobně popsán v manuálu k programu RFEM. Důležitá je především kapitola 10.1.3.4 *Výběr dat přidavných modulů*, která pojednává o výběru vstupních a výstupních dat v přidavných modulech.

Pro každý model lze vytvořit několik výstupních protokolů. Zvláště v případě rozsáhlých konstrukcí doporučujeme místo jednoho objemného protokolu vytvořit několik menších protokolů. Pokud například vytvoříme samostatný protokol jen pro data návrhového případu z modulu RF-GLASS, bude výstupní protokol relativně rychle zpracován.

Ve výstupním protokolu se objeví složky napětí, které jsme v příslušném návrhovém případě z RF-GLASS nastavili pro zobrazení v tabulkách výsledků.

6.2 Tisk zobrazení z RF-GLASS

Grafická znázornění provedených posouzení lze začlenit do výstupního protokolu nebo poslat přímo na tiskárnu. V kapitole 10.2 *Přímý výtisk grafiky* v manuálu k programu RFEM je tisk grafických zobrazení podrobně popsán.

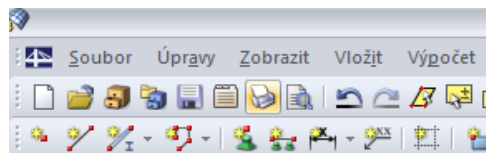


Každý obrázek, který se zobrazí v grafickém okně v hlavním programu RFEM, lze začlenit do výstupního protokolu. Stejně tak lze do protokolu převzít i průběhy výsledků na řezech kliknutím na tlačítko [Tisk] v daném okně.

Aktuální grafické zobrazení z RF-GLASS v pracovním okně RFEMu lze vytisknout příkazem z hlavní nabídky

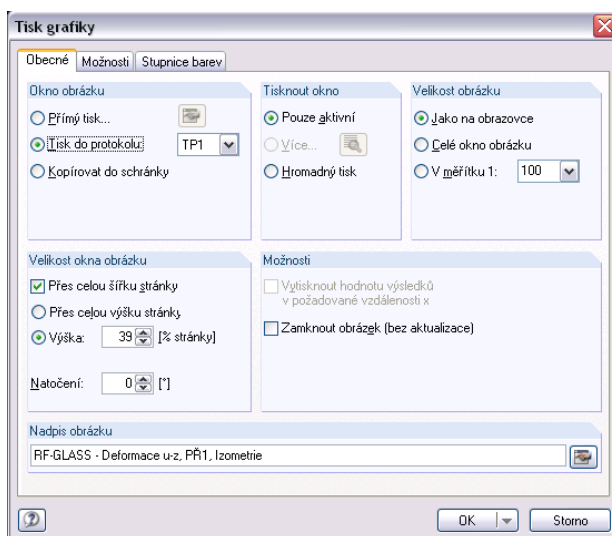
Soubor → **Tisk...**

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obr. 6.1: Tlačítko *Tisknout* v panelu nástrojů v hlavním okně

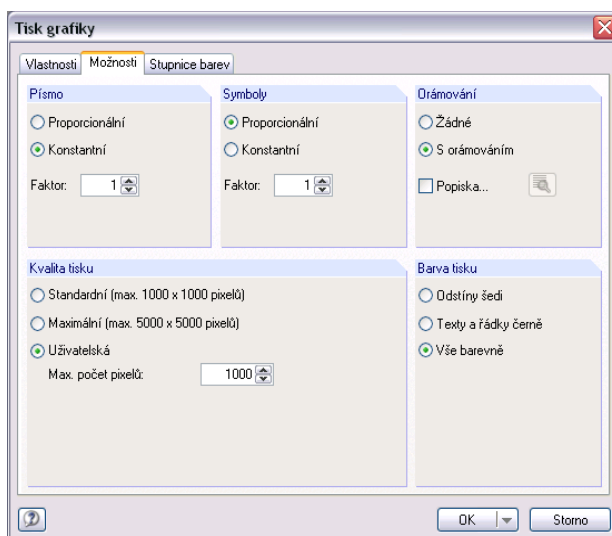
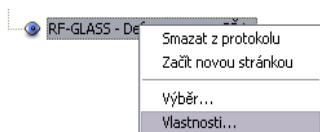
Zobrazí se pak následující dialog:

Obr. 6.2: Dialog *Tisk grafiky* - záložka *Obecné*

Tento dialog je podrobně popsán v kapitole 10.2 *Přímý výtisk grafiky* v manuálu k programu RFEM. Vysvětleny tu jsou i ostatní dvě záložky *Možnosti* a *Stupnice barev*.

Grafické zobrazení z RF-GLASS lze ve výstupním protokolu přesunout na jiné místo jako obvykle pomocí funkce Drag&Drop.

Vložené obrázky lze také dodatečně upravovat: pravým tlačítkem myši klikneme na příslušnou položku v navigátoru protokolu a v její místní nabídce vybereme *Vlastnosti*. Znovu se zobrazí dialog *Tisk grafiky*, v němž lze nastavit případné změny.

Obr. 6.3: Dialog *Tisk grafiky* - záložka *Možnosti*

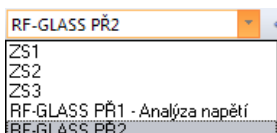
7. Obecné funkce

V této kapitole jsou popsány běžně používané funkce z hlavní nabídky a také možnosti exportu výsledků posouzení.

7.1 Návrhové případy v RF-GLASS

Uživatel má možnost seskupovat plochy do samostatných návrhových případů. Lze tak například samostatně posoudit určité stavební celky nebo prvky se specifickým zadáním.

Návrhové případy založené v RF-GLASS jsou obsaženy v seznamu zatěžovacích stavů a kombinací v panelu nástrojů v pracovním okně RFEMu.

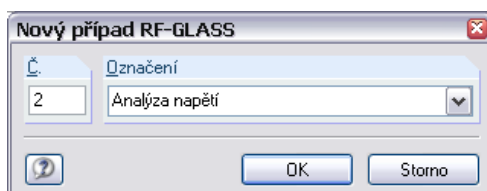


Vytvoření nového případu v RF-GLASS

Nový případ lze vytvořit příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-GLASS

Soubor → **Nový případ....**

Otevře se následující dialog:



Obr. 7.1: Dialog *Nový případ RF-GLASS*

V tomto dialogu je třeba vyplnit (dosud nezadané) *číslo* a *označení* nového případu. Po ukončení dialogu kliknutím na tlačítko [OK] se zobrazí tabulka modulu RF-GLASS 1.1 *Základní údaje*, kde definujeme nové údaje pro posouzení.

Přejmenování případu v RF-GLASS

Označení případu lze změnit příkazem z hlavní nabídky modulu RF-GLASS

Soubor → **Přejmenovat případ....**

Otevře se dialog *Přejmenovat případ RF-GLASS*.



Obr. 7.2: Dialog *Přejmenovat případ RF-GLASS*

Kopírování případu v RF-GLASS

Vstupní údaje aktuálního případu lze zkopírovat příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-GLASS

Soubor → **Kopírovat případ....**

Otevře se dialog *Kopírovat případ RF-GLASS*, ve kterém je třeba uvést číslo a označení nového případu, do něhož se vybraný případ zkopíruje.

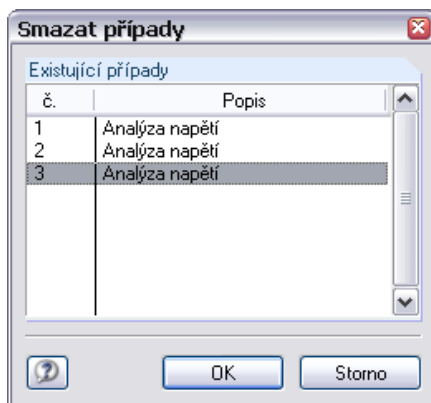
Obr. 7.3: Dialog *Kopírovat případ RF-GLASS*

Smazání případu v RF-GLASS

Uživatel má možnost případy smazat příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-GLASS

Soubor → **Smazat případy...**

V dialogu *Smazat případy* pak ze seznamu *Existující případy* vybereme určitý případ, který se po kliknutí na tlačítko [OK] smaže.

Obr. 7.4: Dialog *Smazat případy*

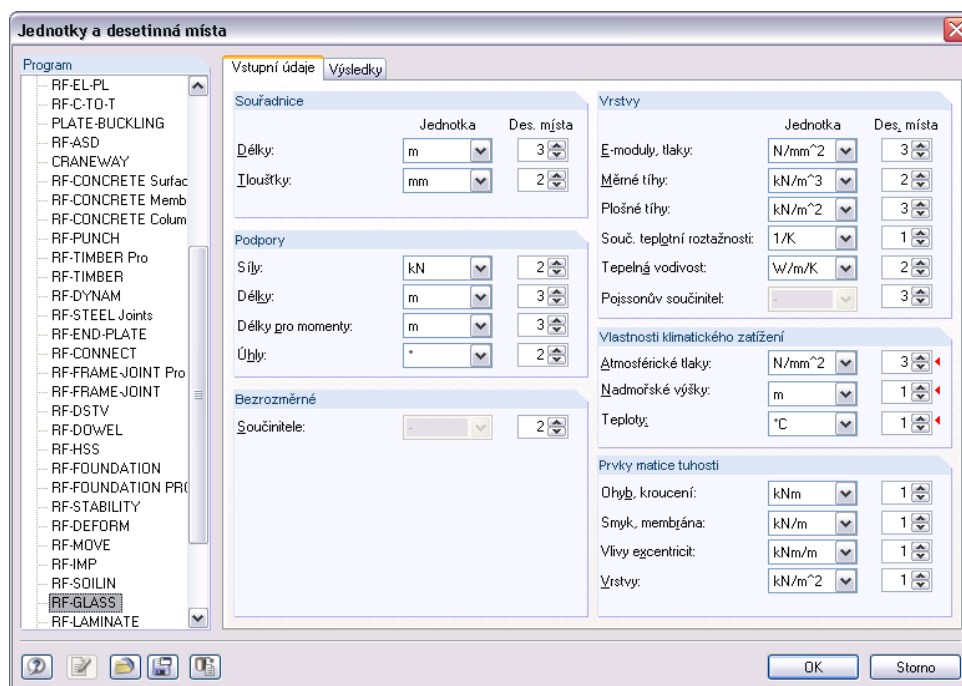
7.2 Jednotky a desetinná místa

Jednotky a desetinná místa se pro RFEM i všechny jeho přídatné moduly nastavují centrálně. V modulu RF-GLASS otevřeme dialog pro nastavení jednotek příkazem z hlavní nabídky

Nastavení → **Jednotky a desetinná místa...**

Otevře se dialog již dobře známý z RFEMu. V něm je již přednastaven modul RF-GLASS.

Na Obr. 7.5 je patrné, že některé jednotky jsou označeny červenou šipkou (v našem případě jednotky atmosférického tlaku, nadmořské výšky a teploty). Toto označení slouží k rychlé orientaci v dialogu *Jednotky a desetinná místa* pro aktuálně otevřenou tabulku v modulu RF-GLASS. V našem případě je v modulu otevřena tabulka 1.6 *Parametry klimatického zatížení*, proto je velmi snadné najít a následně změnit jednotky vztahující se k této tabulce.

Obr. 7.5: Dialog *Jednotky a desetinná místa*

Nastavení lze uložit jako uživatelský profil a použít i v jiných modelech. Popis této funkce najdeme v kapitole 11.1.3 *Jednotky a desetinná místa* v manuálu k programu RFEM.

7.3 Export výsledků

Výsledky analýzy lze různým způsobem převést i do jiných programů.

Schránka

Označené řádky v tabulce výsledků v RF-GLASS lze pomocí tlačítek [Ctrl]+[C] zkopírovat do schránky a následně dvojicí tlačítek [Ctrl]+[V] převést například do některého textového procesoru. Nadpisy sloupců v tabulce exportovány nebudou.

Výstupní protokol

Údaje z modulu RF-GLASS lze zařadit do centrálního výstupního protokolu (kapitola 6.1, strana 54) a odtud pak exportovat příkazem z hlavní nabídky

Soubor → **Export do souborů RTF resp. BAUTEXT...**

Tato funkce je popsána v kapitole 10.1.11 *Export protokolu* v manuálu k programu RFEM.

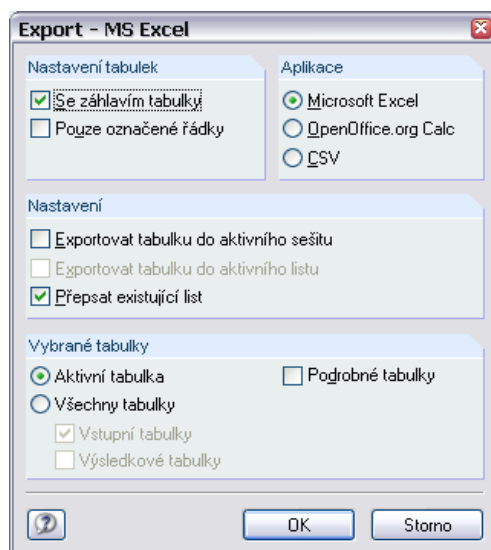
Excel / OpenOffice

RF-GLASS umožňuje přímý export dat do MS Excelu nebo do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org.

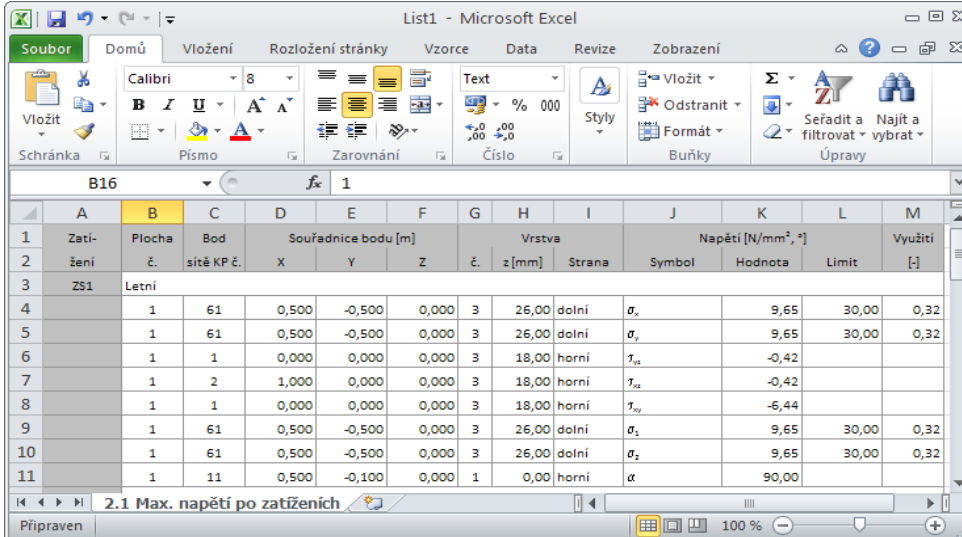
Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky RF-GLASS

Soubor → **Exportovat tabulky...**

Otevře se následující dialog pro export dat:

Obr. 7.6: Dialog *Export – MS Excel*

Jakmile vybereme požadované parametry, můžeme export zahájit kliknutím na tlačítko [OK]. Excel, resp. Calc nemusí běžet na pozadí, před exportem se automaticky spustí.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Zati-	Plocha	Bod	Souřadnice bodu [m]			Vrstva		Napětí [N/mm ² , *]				Využití
2	žení	č.	sítě KP č.	X	Y	Z	č.	z [mm]	Strana	Symbol	Hodnota	Limit	[-]
3	ZS1	Letní											
4		1	61	0,500	-0,500	0,000	3	26,00	dolní	σ_x	9,65	30,00	0,32
5		1	61	0,500	-0,500	0,000	3	26,00	dolní	σ_x	9,65	30,00	0,32
6		1	1	0,000	0,000	0,000	3	18,00	horní	τ_{xy}	-0,42		
7		1	2	1,000	0,000	0,000	3	18,00	horní	τ_{xy}	-0,42		
8		1	1	0,000	0,000	0,000	3	18,00	horní	τ_{xy}	-6,44		
9		1	61	0,500	-0,500	0,000	3	26,00	dolní	σ_x	9,65	30,00	0,32
10		1	61	0,500	-0,500	0,000	3	26,00	dolní	σ_x	9,65	30,00	0,32
11		1	11	0,500	-0,100	0,000	1	0,00	horní	α	90,00		

Obr. 7.7: Výsledky v MS Excelu: Tabulka 2.1 Max. napětí po zatíženích

7.4 Klávesové zkratky

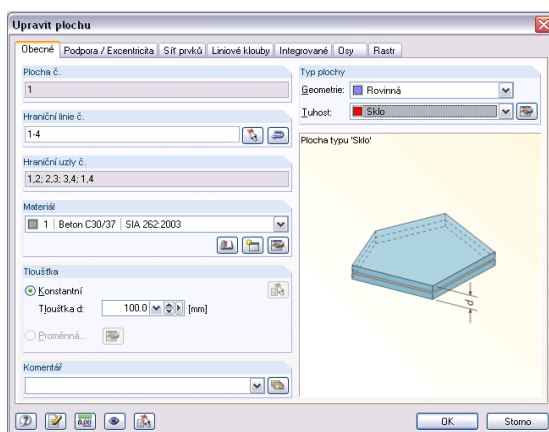
V jednotlivých tabulkách modulu RF-GLASS lze často používané funkce rychle vyvolat z klávesnice:

[F1]	Nápověda
[F2]	Následující tabulka
[F3]	Předchozí tabulka
[F7]	Výběr v tabulkách
[F8]	Kopírování posledního řádku v tabulce
[F9]	Kalkulačka
[Ctrl+2]	Zkopírování řádku v tabulce do následujícího řádku
[Ctrl+C]	Kopírování do schránky
[Ctrl+F]	Hledání v tabulce
[Ctrl+H]	Náhrada v tabulce
[Ctrl+I]	Vložení řádku do tabulky
[Ctrl+L]	Skok v tabulce na řádek se zadaným číslem
[Ctrl+N]	Založení nového případu
[Ctrl+R]	Smazání řádků v tabulce
[Ctrl+S]	Uložení dat
[Ctrl+V]	Vložení dat ze schránky
[Ctrl+X]	Vyjmutí z tabulky
[Ctrl+Y]	Vyprázdnění obsahu aktuálního řádku v tabulce
[Ctrl+Z]	Zpět (Undo)

Tabulka 7.1: Klávesové zkratky

7.5 Návaznost na RFEM

Pokud je v RFEMu zvolena plocha typu Sklo, je plocha určena k tomu, aby byla počítána v modulu RF-GLASS. Jak již bylo řečeno v kapitole 3.3, zadání v modulu RF-GLASS slouží pouze pro tento modul a neovlivňuje žádným způsobem zadání v RFEMu. Plochu typu Sklo lze v RFEMu libovolně definovat pomocí tloušťky a materiálu.



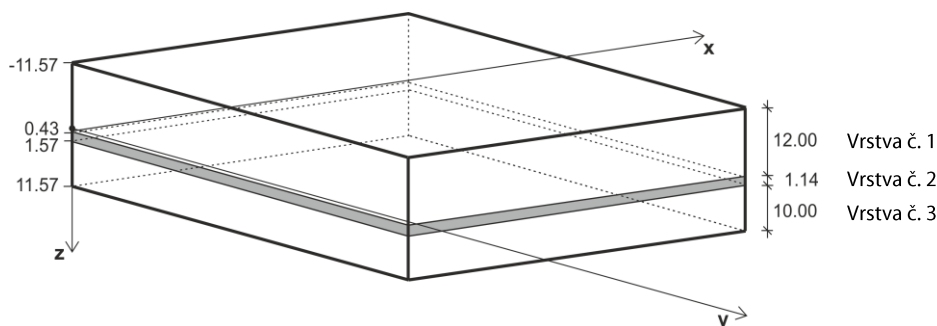
Obr. 7.8: Dialog *Upravit plochu*

8. Příklady

V následující kapitole předkládáme několik příkladů.

8.1 Příklad 1 – Výpočet prvků matice tuhosti

Uvažujme vrstvené sklo složené z tabule tepelně tvrzeného skla tl. 12 mm, PVB fólie tl. 1.14 mm a tabule tepelně tvrzeného skla tl. 10 mm. Smykové spřažení vrstev je zohledněno. Uvažujeme dále, že výpočet bude probíhat pomocí 2D deskové teorie.



Obr. 8.1: Schéma vrstev

Vrstvy										
Vrstva č.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
	Typ vrstvy	Označení materiálu	Tloušťka t [mm]	Modul pružnosti E [N/mm ²]	Smykový modul G [N/mm ²]	Poisson. souč. ν [-]	Měrná tíha γ [kN/m ³]	Tepl. souč. rozst. α _T [1/°C]	Mezní napětí σ _{mezí} [N/mm ²]	
1	Sklo	Tepelně tvrzené plavené sklo	12.00	70000.000	28455.000	0.230	25.00	2.73150E+02	120.000	
2	Fólie	PVB při 22 °C zatížené do 10 s	1.14	12.000	4.003	0.499	10.70	2.73150E+02		
3	Sklo	Tepelně tvrzené plavené sklo	10.00	70000.000	28455.000	0.230	25.00	2.73150E+02	120.000	
4										

Obr. 8.2: Tabulka 1.2 Vrstvy

Matice tuhosti jednotlivých vrstev je pak následující

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i,11} & d_{i,12} & 0 \\ \text{sym.} & d_{i,22} & 0 \\ & & d_{i,33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & \frac{\nu_i E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ & \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ \text{sym.} & & G_i \end{bmatrix}, \quad G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1+\nu_i)} \quad i=1, \dots, n \quad (8.1)$$

$$\mathbf{d}_1 = \begin{bmatrix} \frac{70000}{1-0.23^2} & \frac{0.23 \cdot 70000}{1-0.23^2} & 0 \\ & \frac{70000}{1-0.23^2} & 0 \\ \text{sym.} & & 28455 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 73909.8 & 16999.3 & 0 \\ 16999.3 & 73909.8 & 0 \\ 0 & 0 & 28455.0 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Prvky matice					
d11:	73909.8	[MN/m ²]	d12:	16999.3	[MN/m ²]
			d22:	73909.8	[MN/m ²]
			d33:	28455.0	[MN/m ²]

Obr. 8.3: Matice tuhosti vrstvy č. 1 z RF-GLASS

$$d_2 = \begin{bmatrix} \frac{12}{1-0.499^2} & \frac{0.499 \cdot 12}{1-0.499^2} & 0 \\ \text{sym.} & \frac{12}{1-0.499^2} & 0 \\ & & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.98 & 7.97 & 0 \\ 7.97 & 15.98 & 0 \\ 0 & 0 & 4.00 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Prvky matice

d11:	15.98 [MN/m ²]	d12:	7.97 [MN/m ²]	
		d22:	15.98 [MN/m ²]	
			d33:	4.00 [MN/m ²]

Obr. 8.4: Matice tuhosti vrstvy č. 2 z RF-GLASS

$$d_3 = d_1 = \begin{bmatrix} \frac{70000}{1-0.23^2} & \frac{0.23 \cdot 70000}{1-0.23^2} & 0 \\ \text{sym.} & \frac{70000}{1-0.23^2} & 0 \\ & & 28455 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 73909.8 & 16999.3 & 0 \\ 16999.3 & 73909.8 & 0 \\ 0 & 0 & 28455.0 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Prvky matice

d11:	73909.8 [MN/m ²]	d12:	16999.3 [MN/m ²]	
		d22:	73909.8 [MN/m ²]	
			d33:	28455.0 [MN/m ²]

Obr. 8.5: Matice tuhosti vrstvy č. 3 z RF-GLASS

Globální matice tuhosti má pak tvar

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \quad (8.2)$$

Prvky matice tuhosti (ohyb a kroucení)

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i,\max}^3 - z_{i,\min}^3}{3} d_{i,11} \quad D_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i,\max}^3 - z_{i,\min}^3}{3} d_{i,12}$$

$$D_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i,\max}^3 - z_{i,\min}^3}{3} d_{i,22}$$

$$D_{33} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i,\max}^3 - z_{i,\min}^3}{3} d_{i,33}$$

$$D_{11} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73909.8 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^3 - (0.43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 15.98 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^3 - (1.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73909.8 \cdot 10^3 = 76.2 \text{ Nm}$$

$$D_{12} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16999.3 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^3 - (0.43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 7.97 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^3 - (1.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16999.3 \cdot 10^3 = 17.5 \text{ Nm}$$

$$D_{22} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73909.8 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^3 - (0.43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 15.98 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^3 - (1.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73909.8 \cdot 10^3 = 76.2 \text{ Nm}$$

$$D_{33} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 28455.0 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^3 - (0.43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 4.0 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^3 - (1.57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 28455.0 \cdot 10^3 = 29.3 \text{ Nm}$$

Prvky matice tuhosti (účinky excentricity)

$$D_{16} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;11}$$

$$D_{17} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;12}$$

$$D_{27} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;22}$$

$$D_{38} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i;\max}^2 - z_{i;\min}^2}{2} d_{i;33}$$

$$D_{16} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73909.8 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^2 - (0.43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 15.98 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^2 - (1.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73909.8 \cdot 10^3 = -84.2 \text{ Nm/m}$$

$$D_{17} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16999.3 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^2 - (0.43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 7.97 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^2 - (1.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16999.3 \cdot 10^3 = -19.4 \text{ Nm/m}$$

$$D_{27} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73909.8 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^2 - (0.43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 15.98 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^2 - (1.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73909.8 \cdot 10^3 = -84.2 \text{ Nm/m}$$

$$D_{38} = \frac{(0.43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 28455.0 \cdot 10^3 + \frac{(1.57 \cdot 10^{-3})^2 - (0.43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 4.0 \cdot 10^3 + \frac{(11.57 \cdot 10^{-3})^2 - (1.57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 28455.0 \cdot 10^3 = -32.4 \text{ Nm/m}$$

Prvky matice tuhosti (membrána)

$$D_{66} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11}$$

$$D_{67} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12}$$

$$D_{77} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22}$$

$$D_{88} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}$$

$$D_{66} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 73909.8 \cdot 10^3 + 1.14 \cdot 10^{-3} \cdot 15.98 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 73909.8 \cdot 10^3 = 1626030 \text{ N/m}$$

$$D_{67} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 16999.3 \cdot 10^3 + 1.14 \cdot 10^{-3} \cdot 7.97 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 16999.3 \cdot 10^3 = 373993 \text{ N/m}$$

$$D_{77} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 73909.8 \cdot 10^3 + 1.14 \cdot 10^{-3} \cdot 15.98 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 73909.8 \cdot 10^3 = 1626030 \text{ N/m}$$

$$D_{88} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 28455.0 \cdot 10^3 + 1.14 \cdot 10^{-3} \cdot 4.0 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 28455.0 \cdot 10^3 = 626015 \text{ N/m}$$

Prvky matice tuhosti (smyk) [N/m]

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3, nebude uveden postup výpočtu smykových prvků matice tuhosti. Je však možné ověřit, že platí následující vztah

$$\max_i \left(\frac{5}{6} G_i t_i \right) \leq D_{44} = D_{55} \leq \frac{5}{6} \max_i (G_i) \sum_{i=1}^n t_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.3)$$

Smykové tuhosti převzaté z RF-GLASS jsou následující

$$D_{44} = D_{55} = 284550 \text{ N/m}$$

$$\frac{5}{6} G_1 t_1 = \frac{5}{6} 28455 \cdot 12 = 284550 \text{ N/m}$$

$$\frac{5}{6} G_2 t_2 = \frac{5}{6} 4 \cdot 1.14 = 3.8 \text{ N/m}$$

$$\frac{5}{6} G_3 t_3 = \frac{5}{6} 28455 \cdot 10 = 237125 \text{ N/m}$$

$$284550 \leq 284550 = 284550 \leq \frac{5}{6} 28455(12+1.14+10) = 548707$$

Globální matice tuhosti

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix}
 76.2 & 17.5 & 0 & 0 & 0 & -84.2 & -19.4 & 0 \\
 & 76.2 & 0 & 0 & 0 & -19.4 & -84.2 & 0 \\
 & & 29.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -32.4 \\
 & & & 284550 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 284550 & 0 & 0 & 0 \\
 & \text{sym.} & & & & 1626030 & 373993 & 0 \\
 & & & & & & 1626030 & 0 \\
 & & & & & & & 626015
 \end{bmatrix}$$

Prvky rozšířené matice tuhosti

Plocha č. 1 Paket č. 1

Prvky matice tuhosti (ohyby a kroucení)

D11: 76.2 [kNm] D12: 17.5 [kNm] D22: 76.2 [kNm] D33: 29.3 [kNm]

Prvky matice tuhosti (smyk)

D44: 284550.0 [kN/m] D55: 284550.0 [kN/m]

Prvky matice tuhosti (membrána)

D66: 1626030.0 [kN/m] D67: 373993.0 [kN/m] D77: 1626030.0 [kN/m] D88: 626015.0 [kN/m]

Prvky matice tuhosti (účinky excentricity)

D16: -84.2 [kNm/m] D17: -19.4 [kNm/m] D27: -84.2 [kNm/m] D38: -32.4 [kNm/m]

$$\begin{bmatrix}
 D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & 0 \\
 D_{22} & 0 & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & 0 & \\
 & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{38} & \\
 & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & \\
 & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 & \\
 \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & 0 & \\
 & & & & & D_{77} & 0 & \\
 & & & & & & D_{88} &
 \end{bmatrix}$$

$D_{11} \dots D_{33}$ [Nm]

$D_{44} \dots D_{88}$ [N/m]

$D_{16} \dots D_{38}$ [Nm/m]

OK

Obr. 8.6: Dialog Prvky rozšířené matice tuhosti z RF-GLASS

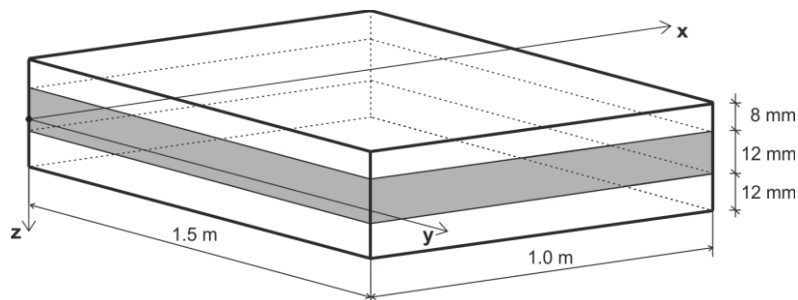
8.2 Příklad 2 – Izolační sklo

Uvažujme izolační sklo o rozměrech 1.0 x 1.5 m, kloubově podepřené, se skladbou zobrazenou na Obr. 8.7 a parametry uvedenými v následující tabulce.

Rozměr skleněné tabule ve směru osy x		$a = 1.0$ m	
Rozměr skleněné tabule ve směru osy y		$b = 1.5$ m	
Tloušťka vnější tabule skla		$t_1 = 8$ mm	
Tloušťka vzduchové vrstvy		$t_2 = 12$ mm	
Tloušťka vnitřní tabule skla		$t_3 = 12$ mm	
Parametry skla	Modul pružnosti	$E = 70000$ MPa	
	Smykový modul	$G = 28455$ MPa	
	Poissonův součinitel	$\nu = 0.23$	
Klimatické zatížení	Výroba	Teplota	$T_p = 0$ °C
		Atmosférický tlak	$p_{p,met} = 101$ kPa
		Nadmořská výška	$H_1 = 0$ m
	Montáž	Teplota (vnější=plynu=vnitřní)	$T_1 = 25$ °C
		Atmosférický tlak	$p_{out,met} = 97$ kPa
		Nadmořská výška	$H_2 = 100$ m

Tabulka 8.1: Parametry izolačního skla

Velikost konečných prvků je 50 mm.



Vnější strana

Vrstva č. 1

Vrstva č. 2

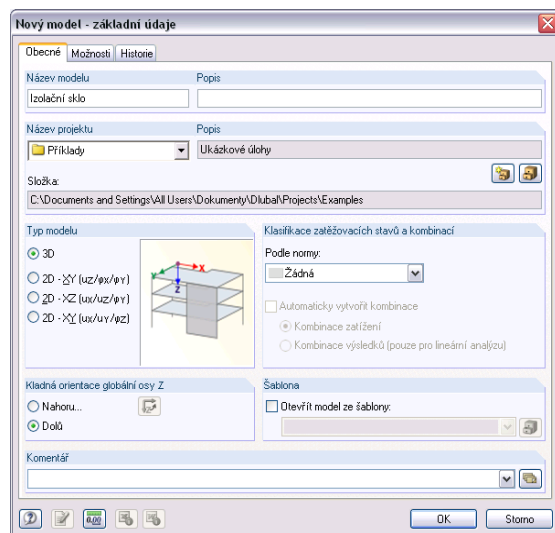
Vrstva č. 3

Vnitřní strana

Obr. 8.7: Schéma vrstev

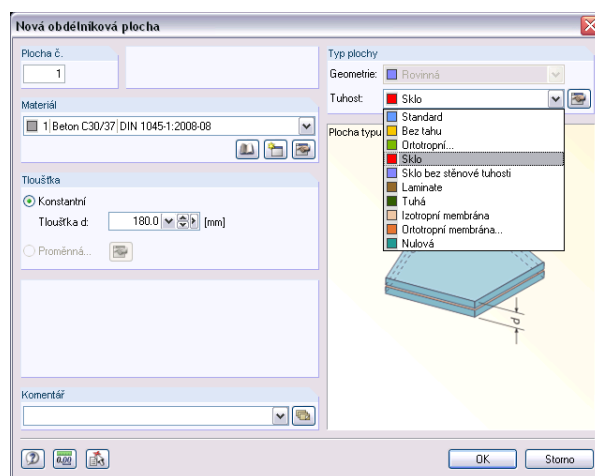
8.2.1 Postup výpočtu v RF-GLASS

Nejprve je zapotřebí v programu RFEM vytvořit *Nový model*.



Obr. 8.8: Vytvoření nového modelu

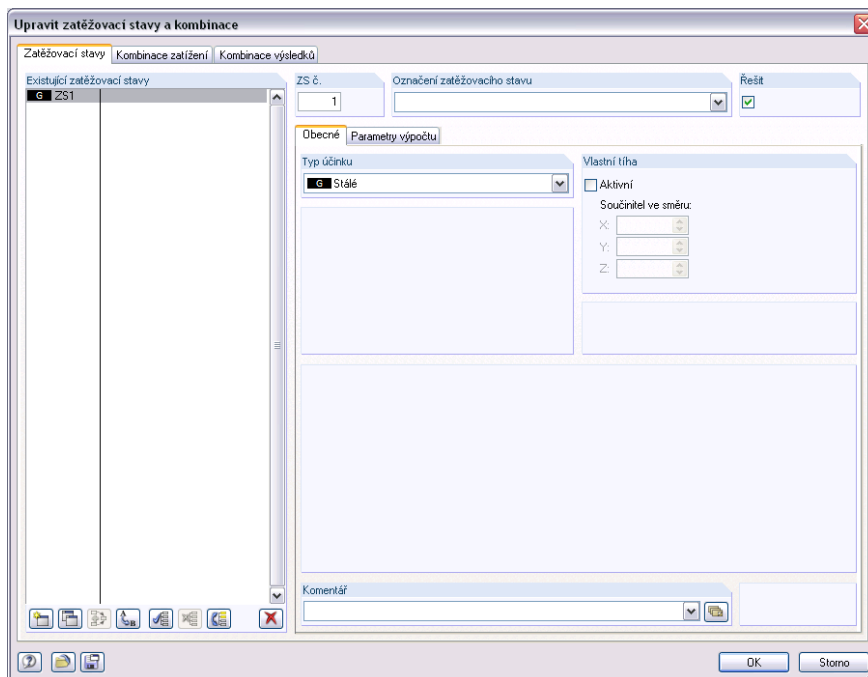
Po založení nového modelu vytvoříme *novou plochu*. Typ plochy zvolíme *Sklo* a rozměry desky jsou 1.0 x 1.5 m.



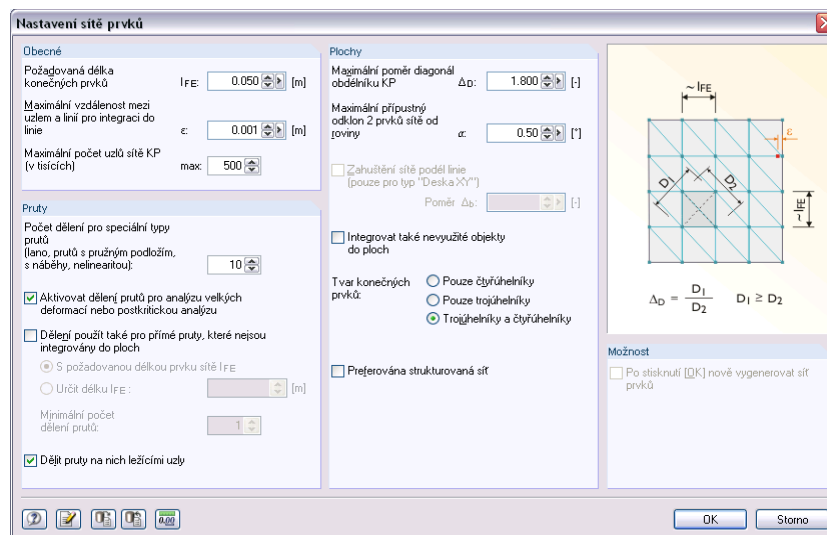
Obr. 8.9: Dialog *Nová obdélníková plocha*

Protože chceme provést výpočet pouze v modulu RF-GLASS a pro tento modul se podpory zadávají přímo v modulu, v RFEM není zapotřebí zadávat žádné podpory.

Přestože v modelu není žádné vnější zatížení, musíme vytvořit zatěžovací stav, aby bylo možné spustit výpočet v modulu RF-GLASS. V dialogu *Nastavení sítě prvků* musíme dále nastavit požadovanou délku konečných prvků na 50 mm.

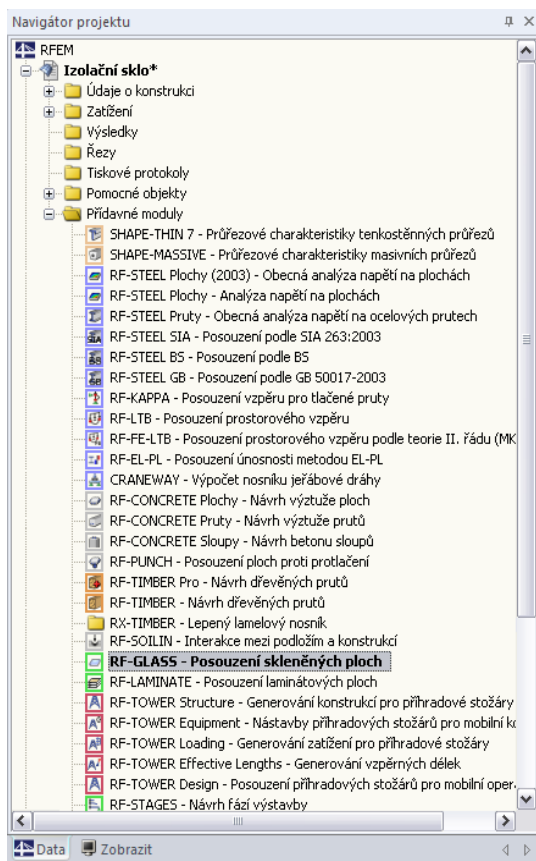


Obr. 8.10: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace – Zatěžovací stavy*



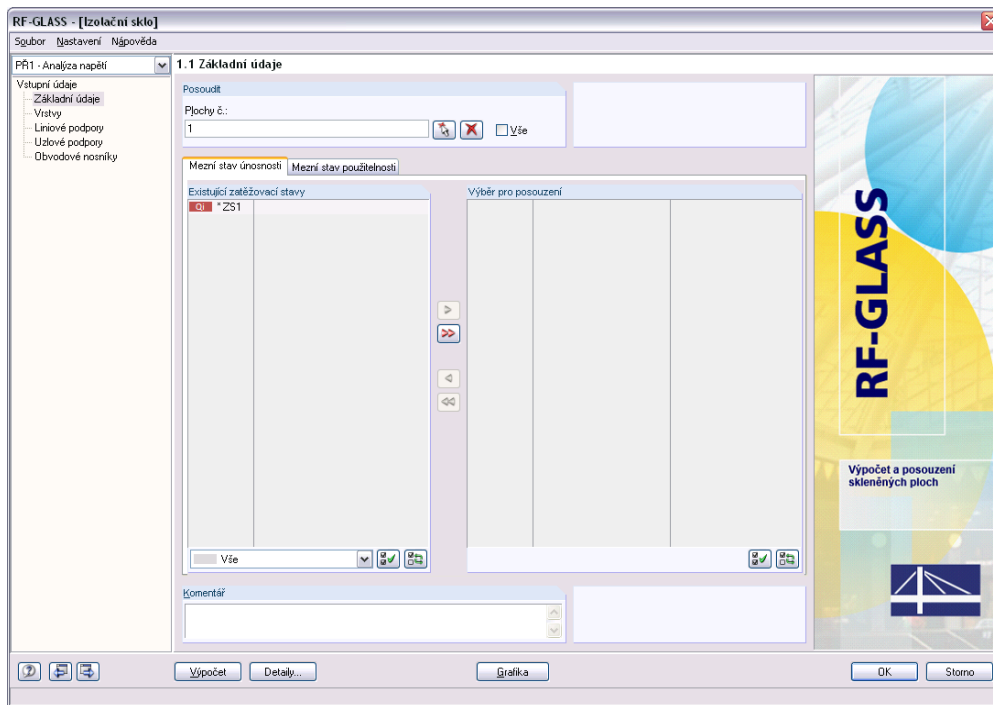
Obr. 8.11: Dialog *Nastavení sítě prvků*

Nyní je již možné otevřít modul RF-GLASS a vyplnit jednotlivé vstupní tabulky.



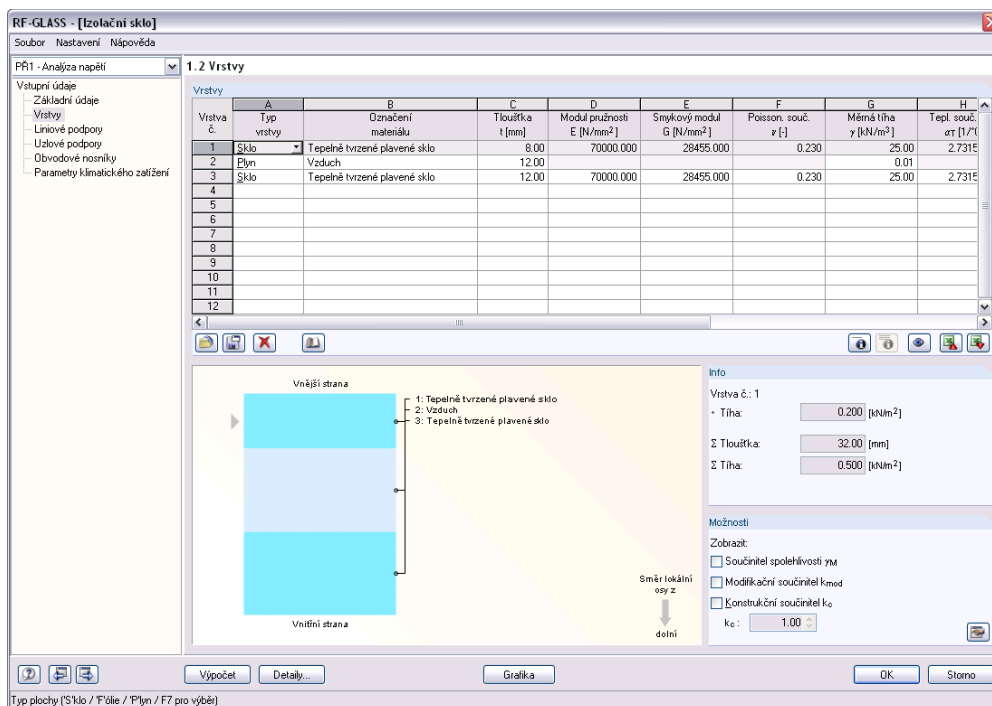
Obr. 8.12: Navigátor Data: Přídavné moduly → RF-GLASS

V tabulce 1.1 *Základní údaje* v tuto chvíli není možné vybrat zatěžovací stav, neboť neobsahuje žádné zatížení, což signalizuje hvězdička u ZS1, viz kapitola 3.1.1.



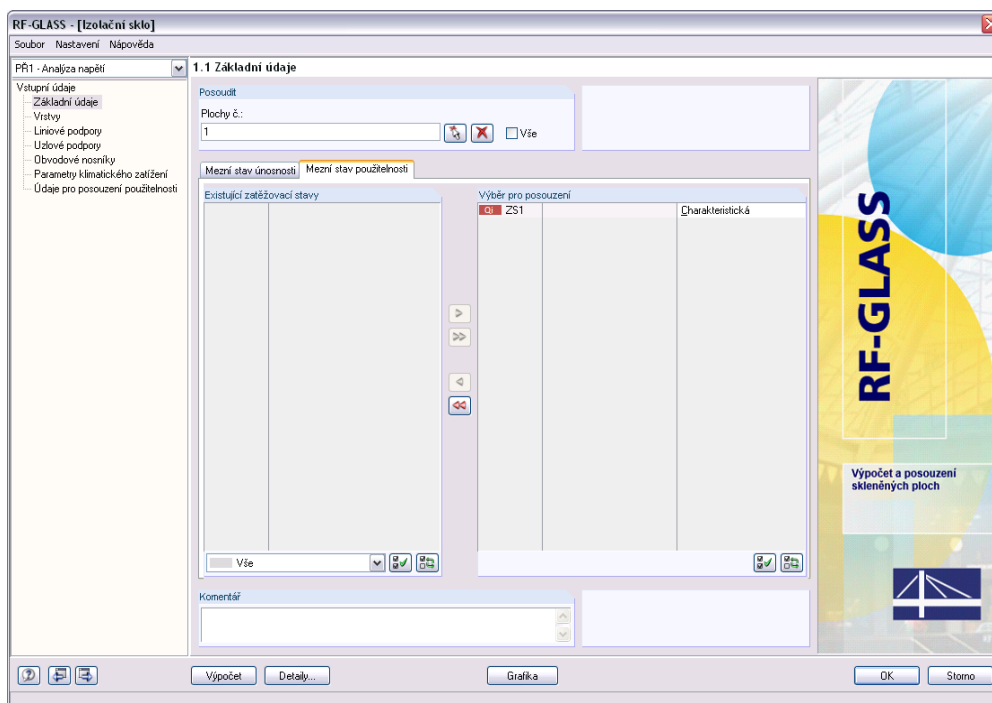
Obr. 8.13: Tabulka 1.1 *Základní údaje*

Proto musíme nejdříve vyplnit tabulku 1.2 *Vrstvy*, kde po zadání plynové vrstvy je možné se vrátit do tabulky 1.1. Zde je již výběr zatěžovacího stavu možný.



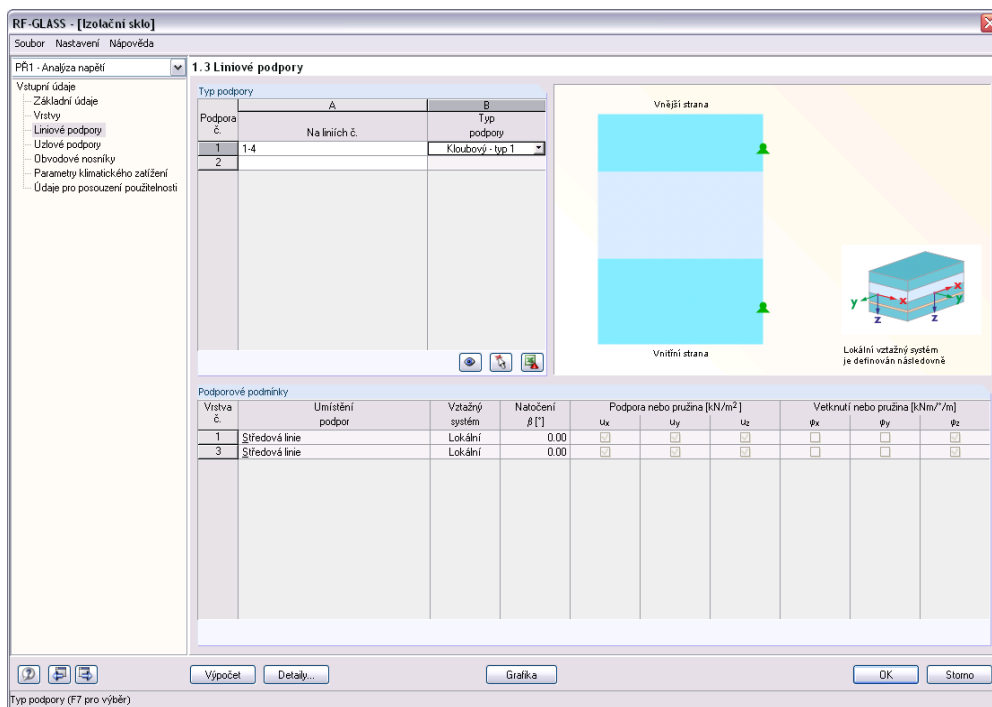
Obr. 8.14: Tabulka 1.2 *Vrstvy*

Protože nás v tuto chvíli zajímá pouze deformace konstrukce, vybereme ZS1 pouze v záložce *Mezní stav použitelnosti* v tabulce *Základní údaje*.



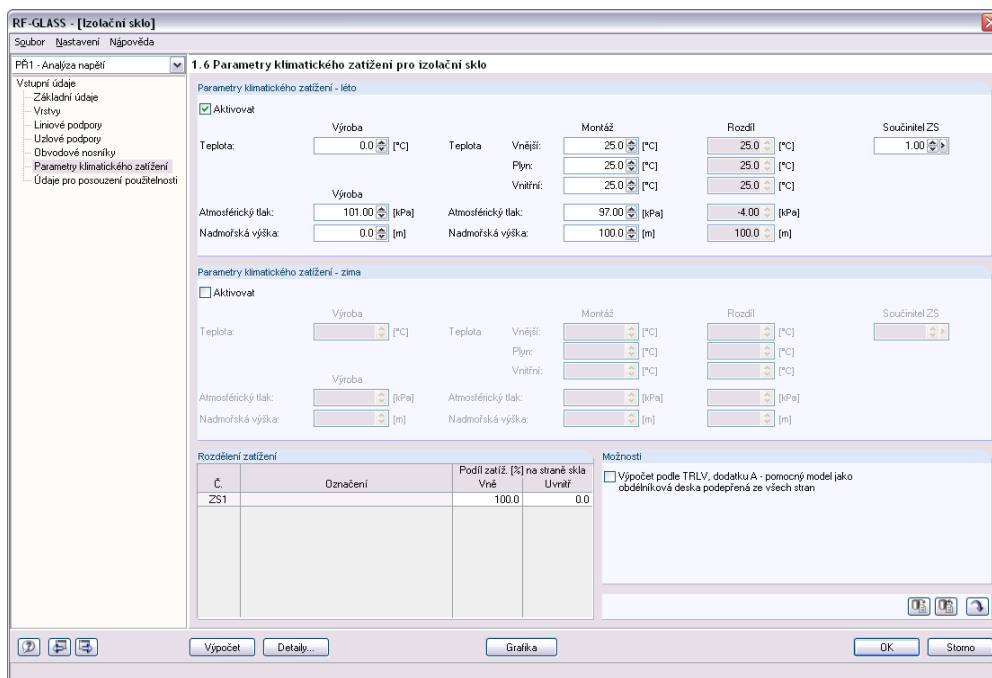
Obr. 8.15: Tabulka 1.1 *Základní údaje* – záložka *Mezní stav použitelnosti*

Nyní zvolíme jednu z liniových předdefinovaných podpor. V našem zadání se jedná o Kloubovou podporu typu 1. Tabulky *Uzlové podpory* a *Obvodové nosníky* jsou prázdné.



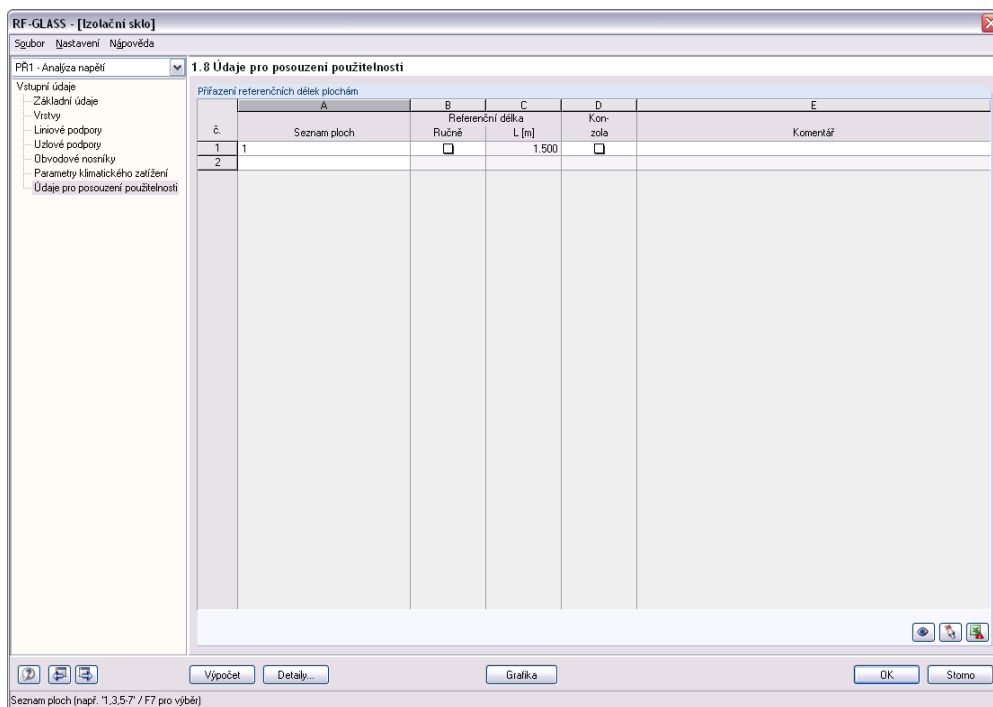
Obr. 8.16: Tabulka 1.3 *Liniové podpory*

Přejdeme proto k tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení pro izolační sklo*.



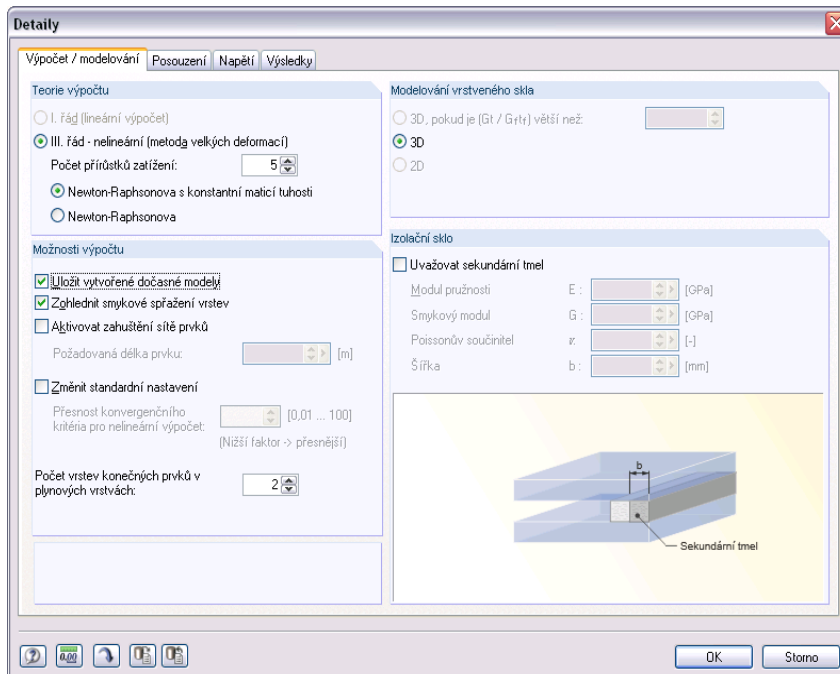
Obr. 8.17: Tabulka 1.6 *Parametry klimatického zatížení pro izolační sklo*

V tabulce *Údaje pro posouzení použitelnosti* vepíšeme do seznamu ploch plochu č. 1. Protože není zaškrtnuto políčko *Ručně*, automaticky se nám vyplní *Referenční délka L*.

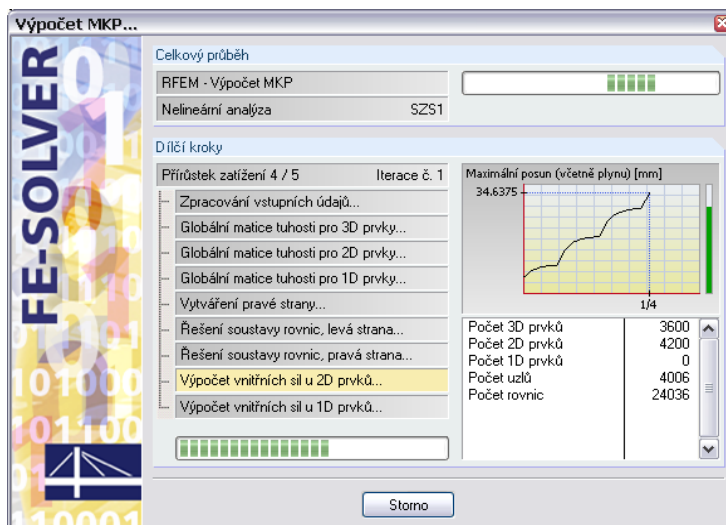


Obr. 8.18: Tabulka 1.8 Údaje pro posouzení použitelnosti

V dialogu *Detaily* pak zkontrolujeme nastavení a spustíme výpočet. Můžeme se všimnout, že protože se jedná o izolační sklo, výpočet bude probíhat ve 3D, tedy jednotlivé vrstvy budou modelovány tělesy.



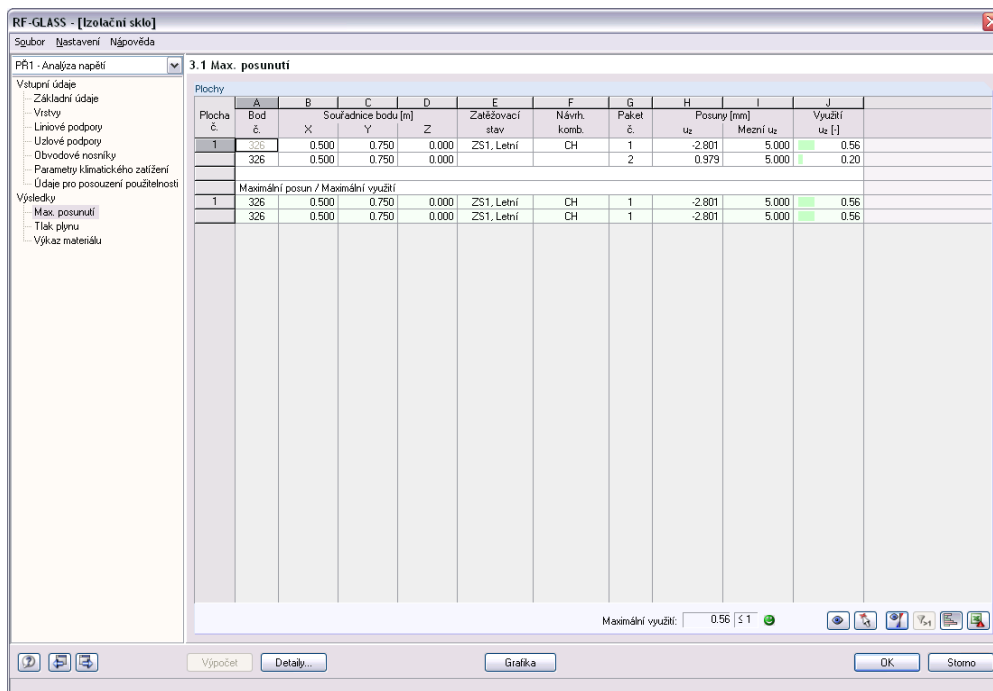
Obr. 8.19: Dialog *Detaily* – záložka *Výpočet / modelování*



Obr. 8.20: Výpočet

V průběhu výpočtu se zobrazuje graf zachycující maximální deformaci, včetně deformace v plynných elementech. Protože tyto posuny nejsou malé, viz předchozí obrázek, je v případě izolačních skel pro správné zachycení geometrie modelu vždy používána teorie III. řádu, tj. teorie velkých deformací.

V tabulce 3.1 *Max. posunutí* pak zjistíme průhyb tabulí skla.



Obr. 8.21: Tabulka 3.1 *Max. posunutí*

8.2.2 Kontrolní výpočet

Kontrolní výpočet příkladu bude proveden přímo v programu RFEM. Protože výpočet izolačního skla probíhá ve 3D, upravíme model, který byla vytvořen modulem RF-GLASS, když jsme si v dialogu *Detaily* zvolili *Uložit vytvořené dočasné modely*, viz Obr. 8.19. Z modelu vytvořeného modulem RF-GLASS odstraníme plynné těleso a následně budeme zatěžovat plošným zatížením p zbylá tělesa představující jednotlivé tabule skla. Plošné zatížení p bude vypočteno následujícím postupem.

Uveďte kontrolní analytický výpočet vycházející ze stavové rovnice pro ideální plyn

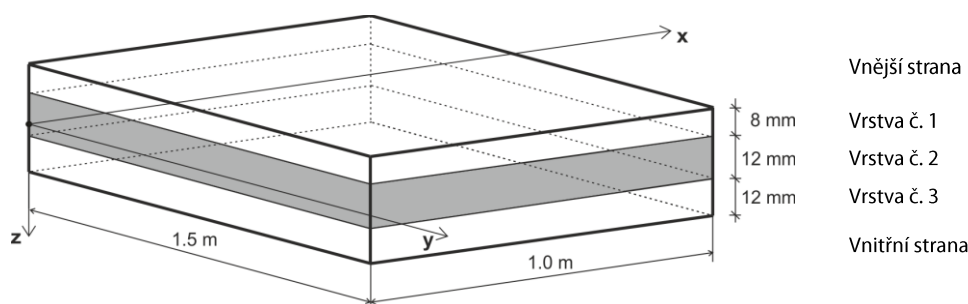
$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (8.4)$$

$$\frac{p_p V_{01}}{T_p} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_{\text{out}})]}{T_1} \quad (8.5)$$

kde C_v je poddajnost skleněných desek definovaná vztahem

$$C_v(p) = \frac{V(p)}{p} \quad \text{m}^3/\text{Pa} \quad (8.6)$$

kde $V(p)$ je objem vzniklý mezi nedeformovanou a deformovanou polohou dané skleněné vrstvy způsobený tlakem p . Hodnota poddajnosti je závislá na okamžité hodnotě tlaku.



Obr. 8.22: Schéma vrstev

Počáteční objem plynu v našem příkladu je

$$V_{01} = a \cdot b \cdot t_2 = 1.0 \cdot 1.5 \cdot 0.012 = 0.018 \text{ m}^3$$

Vnější tlak plynu v místě montáže se vypočítá podle

$$p_{\text{out}} = p_{\text{out,met}} - c_2 \cdot H_2 = p_{p,\text{met}} + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot H_2 = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H \quad (8.7)$$

Dosažením dostaneme

$$\frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_p - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H)]$$

$$C_v p_1^2 + [V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)] p_1 - \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = 0$$

Vnitřní tlak plynu v místě montáže je pak

$$p_1 = \frac{C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2 C_v}$$

$$p_p = p_{p,met} - c_2 \cdot H_1 = 101000 - 12 \cdot 0 = 101000 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{met} = p_{out,met} - p_{p,met} = 97000 - 101000 = -4000 \text{ Pa}$$

$$p_{out} = p_p + \Delta p_{met} - c_2 \cdot \Delta H = 101000 - 4000 - 12 \cdot (100 - 0) = 95800 \text{ Pa}$$

Součinitel C_v je závislý na typu podepření, rozměrech a tuhosti skleněných tabulí. Vypočítá se pomocí následujících vztahů

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} \quad (8.8)$$

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{1}{p} \int_0^a \int_0^b w_1(x, y) dx dy \quad (8.9)$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{1}{p} \int_0^a \int_0^b w_2(x, y) dx dy \quad (8.10)$$

kde C_{v1} je poddajnost vrstvy 1 a C_{v2} je poddajnost vrstvy 3. Protože je tento součinitel závislý na tlaku $p = p_1 - p_{out}$, je výpočet iterační.

1. krok iterace

Volím $p_1 = 100800 \text{ Pa}$, z něhož dostaneme

$$p = p_1 - p_{out} = 100800 - 95800 = 5000 \text{ Pa}$$

Maximální průhyb z RFEMu při nelineárním výpočtu, velikosti prvku sítě 50mm a zatížení $p = 5000 \text{ Pa}$ vyjde $w_1 = -6.144 \text{ mm}$ a $w_2 = 3.207 \text{ mm}$.

Pomocí modulu IMP získáme deformaci jednotlivých bodů konstrukce. Poté je možné vypočítat objem mezi zdeformovanou plochou a plochou před deformací

$$V_1 = 4.054 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ a } V_2 = 2.046 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{4.054 \cdot 10^{-3}}{5000} = 8.108 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{2.046 \cdot 10^{-3}}{5000} = 4.092 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 8.108 \cdot 10^{-7} + 4.092 \cdot 10^{-7} = 1.220 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{met} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{met} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v}$$

Předpočítejme si odmocninu z předchozího vztahu

$$\begin{aligned} & \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{met} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}} = \\ & = \sqrt{[0.018 - 1.220 \cdot 10^{-6} \cdot 95800]^2 + 4 \cdot 1.220 \cdot 10^{-6} \frac{101000 \cdot 0.018 \cdot 298.15}{273.15}} = 0.1395 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tlak plynu je poté roven

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v} =$$

$$= \frac{1.220 \cdot 10^{-6} \cdot 95800 - 0.018 + 0.1395}{2 \cdot 1.220 \cdot 10^{-6}} = 97695 \text{ Pa}$$

2. krok iterace

Volím $p_1 = 97695 \text{ Pa}$, z něhož dostaneme

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97695 - 95800 = 1895 \text{ Pa}$$

Maximální průhyb z RFEMu při nelineárním výpočtu, velikosti prvku sítě 50 mm a zatížení $p = 1895 \text{ Pa}$ vyjde $w_1 = -3.501 \text{ mm}$ a $w_2 = 1.323 \text{ mm}$.

Pomocí modulu IMP získáme deformaci jednotlivých bodů konstrukce. Poté je možné vypočítat objem deformace $V_1 = 2.254 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ a $V_2 = 0.840 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{2.254 \cdot 10^{-3}}{1895} = 1.189 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{0.840 \cdot 10^{-3}}{1895} = 4.434 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.189 \cdot 10^{-6} + 4.434 \cdot 10^{-7} = 1.633 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v}$$

Předpočítejme si odmocninu z předchozího vztahu

$$\sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}} =$$

$$= \sqrt{[0.018 - 1.633 \cdot 10^{-6} \cdot 95800]^2 + 4 \cdot 1.633 \cdot 10^{-6} \frac{101000 \cdot 0.018 \cdot 298.15}{273.15}} = 0.1792 \text{ m}^3$$

Tlak plynu je poté roven

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v} =$$

$$= \frac{1.633 \cdot 10^{-6} \cdot 95800 - 0.018 + 0.1792}{2 \cdot 1.633 \cdot 10^{-6}} = 97271 \text{ Pa}$$

3. krok iterace

Postup v jednotlivých krocích je nadále shodný, proto nyní již vypíšeme jen nejdůležitější hodnoty.

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97271 - 95800 = 1471 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2.922 \text{ mm}, w_2 = 1.034 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1.873 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, V_2 = 0.656 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.274 \cdot 10^{-6} + 4.464 \cdot 10^{-7} = 1.720 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97204 \text{ Pa}$$

4. krok iterace

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97204 - 95800 = 1404 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2.823 \text{ mm}, w_2 = 0.988 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1.808 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, V_2 = 0.627 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.288 \cdot 10^{-6} + 4.468 \cdot 10^{-7} = 1.734 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97194 \text{ Pa}$$

5. krok iterace

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97194 - 95800 = 1394 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2.807 \text{ mm}, w_2 = 0.981 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1.797 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, V_2 = 0.623 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.290 \cdot 10^{-6} + 4.468 \cdot 10^{-7} = 1.737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97192 \text{ Pa}$$

6. krok iterace

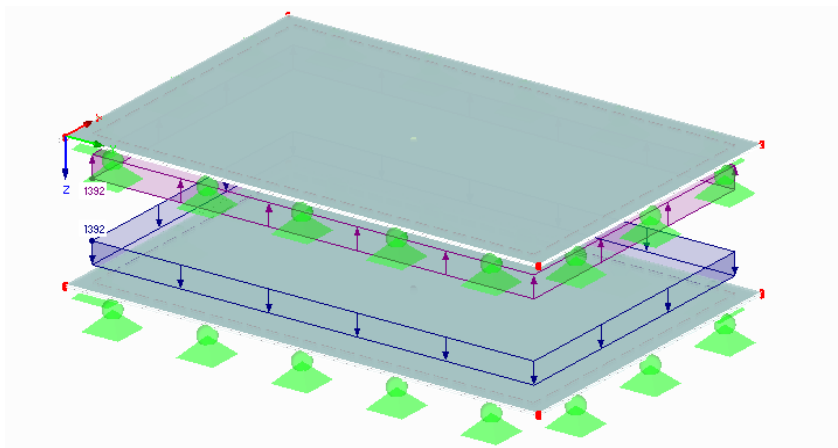
$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97192 - 95800 = 1392 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2.804 \text{ mm}, w_2 = 0.980 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1.796 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, V_2 = 0.622 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.290 \cdot 10^{-6} + 4.469 \cdot 10^{-7} = 1.737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97192 \text{ Pa}$$



Obr. 8.23: Schéma konstrukce v RFEMu

7. krok iterace

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97192 - 95800 = 1392 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2.804 \text{ mm}, w_2 = 0.980 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1.796 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, V_2 = 0.622 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1.290 \cdot 10^{-6} + 4.469 \cdot 10^{-7} = 1.737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97192 \text{ Pa}$$

Protože jsou výsledky v šestém a sedmém iteračním kroku shodné, je iterační proces u konce. Maximální průhyb je ustálen na hodnotách $w_1 = -2.804 \text{ mm}$, $w_2 = 0.980 \text{ mm}$.

Pokud se podíváme na výsledky z modulu RF-GLASS, které jsou $w_1 = -2.801 \text{ mm}$ a $w_2 = 0.979 \text{ mm}$, je patrné, že rozdíl mezi výsledky je pouze 0.1%, což je zanedbatelné.

8.2.3 Výpočet podle TRLV, dodatku A

Nyní spočteme model výpočtem podle DIN 18008-2:2010-12, dodatku A nebo německé technické směrnice TRLV, dodatku A. Musíme pouze změnit typ liniových podpor z typu Kloubový – typ 1 na Kloubový – typ 7, aby model splňoval podmínky pro použití tohoto výpočtu, které jsou uvedené na straně 31.

Podíl vnější tabule skla na celkovou ohybovou tuhost je

$$\delta_1 = \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{8^3}{8^3 + 12^3} = 0.2286 \quad \text{TRLV, dodatek A, rovnice A1}$$

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.1

Podíl vnitřní tabule skla na celkovou ohybovou tuhost je

$$\delta_2 = \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{12^3}{8^3 + 12^3} = 0.7714 \quad \text{TRLV, dodatek A, rovnice A2}$$

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.2

Charakteristická délka hrany je pak

$$a^* = 28.9 \cdot 4 \sqrt{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_v}} \quad \text{TRLV, dodatek A, rovnice A3}$$

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.3

kde B_v určíme z poměru $a/b = 1000/1500 = 0.667$

a/b	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
B_v	0.0194	0.0237	0.0288	0.0350	0.0421	0.0501	0.0587	0.0676	0.0767	0.0857

TRLV, dodatek A, tabulka A1

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, tabulka A.1

Lineární interpolací pak získáme

$$B_v = 0.0373.$$

$$a^* = 28.9 \cdot \sqrt[4]{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_V}} = 28.9 \cdot \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 8^3 \cdot 12^3}{(8^3 + 12^3) 0.0373}} = 546 \text{ mm}$$

Faktor φ je

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1000}{546}\right)^4} = 0.081$$

TRLV, dodatek A, rovnice A4

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.4

Tlak uvnitř izolačního skla vlivem klimatických změn je

$$p_0 = c_1 \Delta T - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H = 340 \cdot 25 - (97000 - 101000) + 12 \cdot 100 = 13700 \text{ Pa} = 13.7 \text{ kN/m}^2$$

TRLV, dodatek A, rovnice A5

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.5

Následující tabulka ukazuje rozdělení zatížení na jednotlivé tabule skla.

Zatížení na		Podíl zatížení na	
		vnější tabuli skla	vnitřní tabuli skla
vnější tabuli skla	vítr w_1	$(\delta_1 + \varphi \delta_2) \cdot w_1$	$(1 - \varphi) \delta_2 \cdot w_1$
	sníh s	$(\delta_1 + \varphi \delta_2) \cdot s$	$(1 - \varphi) \delta_2 \cdot s$
vnitřní tabuli skla	vítr w_2	$(1 - \varphi) \delta_1 \cdot w_2$	$(\varphi \delta_1 + \delta_2) \cdot w_2$
obě tabule skla	vnitřní tlak p_0	$-\varphi \cdot p_0$	$+\varphi \cdot p_0$

TRLV, dodatek A, tabulka A2

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, tabulka A.2

V našem případě

Zatížení na		Podíl zatížení na	
		vnější tabuli skla	vnitřní tabuli skla
obě skla	p_0	$-0.081 \cdot 13.7 = -1.11 \text{ kN/m}^2$	$0.081 \cdot 13.7 = 1.11 \text{ kN/m}^2$

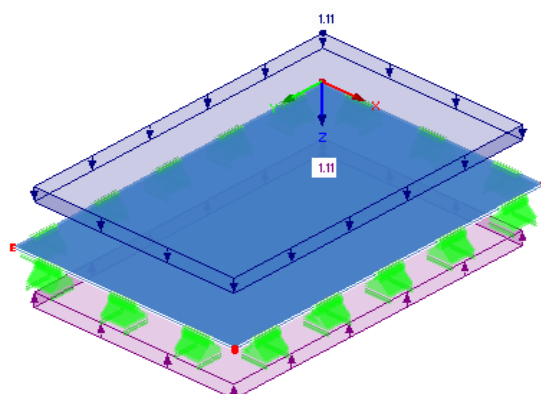
Tabulka 8.2: Zatížení na jednotlivé tabule skla

Nyní model vytvoříme v modulu RF-GLASS.

Postupovat budeme stejným způsobem, jako v předešlé kapitole. Pouze v tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení* zvolíme zjednodušený výpočet podle TRLV dodatku A.

V dialogu *Detaily* v záložce *Výpočet / modelování* zaškrtneme políčko *Uložit vytvořené dočasné modely*, zvolíme výpočet teorií I. řádu a spustíme výpočet.

Pokud otevřeme vytvořený model, můžeme zobrazit a zkontrolovat zatížení, které působí na jednotlivé plochy.



Obr. 8.24: Schéma zatížení

Výsledný maximální průhyb je $w_1 = -2.728$ mm, $w_2 = 0.808$ mm.

8.3 Příklad 3 – Izolační sklo, výpočet podle TRLV, dodatku A

Nyní provedeme výpočet podle DIN 18008-2:2010-12 dodatku A nebo německé technické směrnice TRLV dodatku A.

Model musí splňovat základní podmínky pro použití tohoto výpočtu:

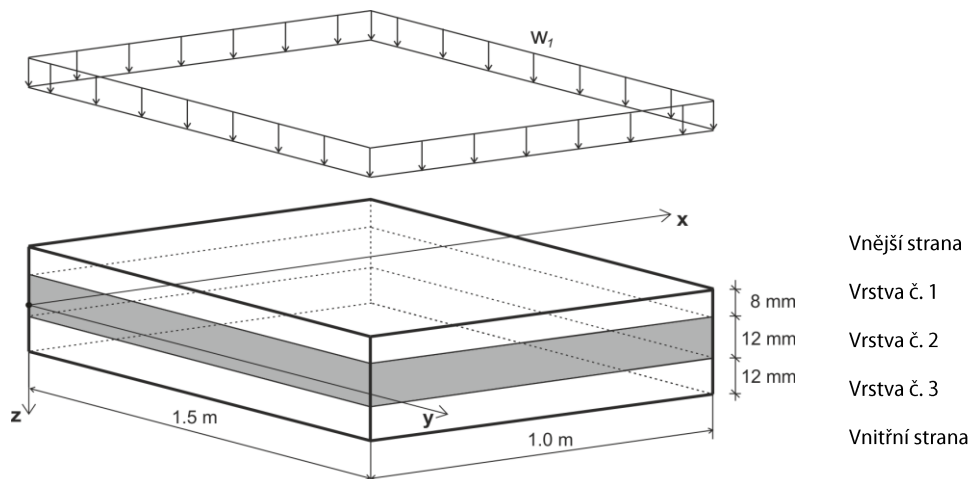
- obdélníková deska bez otvorů
- právě jedna vrstva typu Plyn
- na všech obvodových liniích je liniová podpora typu Kloubový – typ 7
- pouze plošné zatížení

Vždy je použita Kirchhoffova teorie a lineární výpočet podle teorie I. řádu. [1], [2], [5]

Rozměr skleněné tabule ve směru osy x		$a = 1.0$ m	
Rozměr skleněné tabule ve směru osy y		$b = 1.5$ m	
Tloušťka vnější tabule skla		$t_1 = 8$ mm	
Tloušťka vzduchové vrstvy		$t_2 = 12$ mm	
Tloušťka vnitřní tabule skla		$t_3 = 12$ mm	
Parametry skla	Modul pružnosti	$E = 70000$ MPa	
	Smykový modul	$G = 28455$ MPa	
	Poissonův součinitel	$\nu = 0.23$	
Klimatické zatížení	Výroba	Teplota	$T_p = 0$ °C
		Atmosférický tlak	$p_{p,met} = 101$ kPa
		Nadmořská výška	$H_1 = 0$ m
	Montáž	Teplota (vnější=plynu=vnitřní)	$T = 25$ °C
		Atmosférický tlak	$p_{out,met} = 97$ kPa
		Nadmořská výška	$H_2 = 100$ m

Tabulka 8.3: Parametry izolačního skla

Vnější tabule skla je navíc oproti předešlému příkladu zatížena vnějším zatížením o velikosti $w_1 = 1$ kN/m² zadaným v RFEMu.



Obr. 8.25: Schéma zatížení

Podíl vnější tabule skla na celkovou ohybovou tuhost je

$$\delta_1 = \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{8^3}{8^3 + 12^3} = 0.2286$$

TRLV, dodatek A, rovnice A1
DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.1

Podíl vnitřní tabule skla na celkovou ohybovou tuhost je

$$\delta_2 = \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{12^3}{8^3 + 12^3} = 0.7714$$

TRLV, dodatek A, rovnice A2
DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.2

Charakteristická délka hrany je pak

$$a^* = 28.9 \cdot 4 \sqrt{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_v}}$$

TRLV, dodatek A, rovnice A3
DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.3

kde B_v určíme z poměru $a/b = 1000/1500 = 0.667$

a/b	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
B_v	0.0194	0.0237	0.0288	0.0350	0.0421	0.0501	0.0587	0.0676	0.0767	0.0857

TRLV, dodatek A, tabulka A1
DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, tabulka A.1

Lineární interpolací pak získáme

$$B_v = 0.0373.$$

$$a^* = 28.9 \cdot 4 \sqrt{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_v}} = 28.9 \cdot 4 \sqrt{\frac{12 \cdot 8^3 \cdot 12^3}{(8^3 + 12^3) 0.0373}} = 546 \text{ mm}$$

Faktor φ je

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1000}{546}\right)^4} = 0.081$$

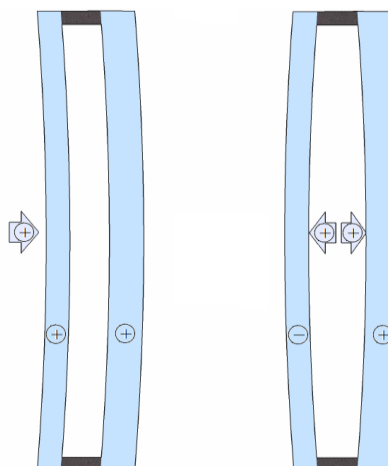
TRLV, dodatek A, rovnice A4
DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.4

Tlak uvnitř izolačního skla vlivem klimatických změn je

$$p_0 = c_1 \Delta T - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H = 340 \cdot 25 - (97000 - 101000) + 12 \cdot 100 = 13700 \text{ Pa} = 13.7 \text{ kN/m}^2$$

TRLV, dodatek A, rovnice A5

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, rovnice A.5

Obr. 8.26: Schéma zatížení: vlevo zatížení větrem w_1 , vpravo zatížení vlivem klimatických změn p_0

Následující tabulka ukazuje rozdělení zatížení na jednotlivé tabule skla.

Zatížení na		Podíl zatížení na	
		vnější tabuli skla	vnitřní tabuli skla
vnější tabuli skla	vítr w_1	$(\delta_1 + \varphi \delta_2) \cdot w_1$	$(1 - \varphi) \delta_2 \cdot w_1$
	sníh s	$(\delta_1 + \varphi \delta_2) \cdot s$	$(1 - \varphi) \delta_2 \cdot s$
vnitřní tabuli skla	vítr w_2	$(1 - \varphi) \delta_1 \cdot w_2$	$(\varphi \delta_1 + \delta_2) \cdot w_2$
obě tabule skla	vnitřní tlak p_0	$-\varphi \cdot p_0$	$+\varphi \cdot p_0$

TRLV, dodatek A, tabulka A2

DIN 18008-2:2010-12, dodatek A, tabulka A.2

V našem případě

Zatížení na		Podíl zatížení na	
		vnější tabuli skla	vnitřní tabuli skla
vnější sklo	w_1	$(0.2286 + 0.081 \cdot 0.7714) \cdot 1.0 =$ $= 0.29 \text{ kN/m}^2$	$(1 - 0.081) \cdot 0.7714 \cdot 1.0 =$ $= 0.71 \text{ kN/m}^2$
obě skla	p_0	$-0.081 \cdot 13.7 = -1.11 \text{ kN/m}^2$	$0.081 \cdot 13.7 = 1.11 \text{ kN/m}^2$

Tabulka 8.4: Zatížení na jednotlivé tabule skla

Celkem vychází zatížení:

$$\text{na vnější tabuli skla } f_1 = 0.29 + (-1.11) = -0.82 \text{ kN/m}^2$$

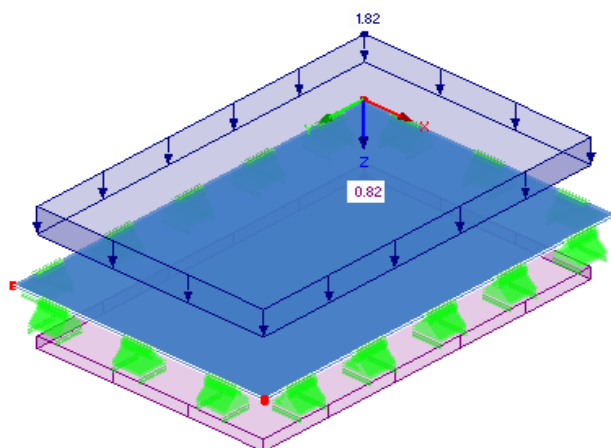
$$\text{na vnitřní tabuli skla } f_2 = 0.71 + 1.11 = 1.82 \text{ kN/m}^2$$

Nyní model vytvoříme v modulu RF-GLASS.

Postupovat budeme stejným způsobem, jako v předešlé kapitole. Pouze navíc v programu RFEM zadáme zatížení na plochu o velikosti 1 kN/m^2 a v modulu RF-GLASS v tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení* v sekci *Rozdělení zatížení* ponecháme 100% zatížení na vnější tabuli skla.

V dialogu *Detaily* v záložce *Výpočet / modelování* zaškrtneme políčko *Uložit vytvořené dočasné modely*, zvolíme výpočet teorií I. řádu a spustíme výpočet.

Pokud otevřeme vytvořený model, můžeme zobrazit a zkontrolovat zatížení, které působí na jednotlivé plochy.



Obr. 8.27: Schéma zatížení

Výsledný maximální průhyb je $w_1 = -2.015 \text{ mm}$, $w_2 = 1.323 \text{ mm}$.

8.4 Příklad 4 – Zakřivené izolační sklo

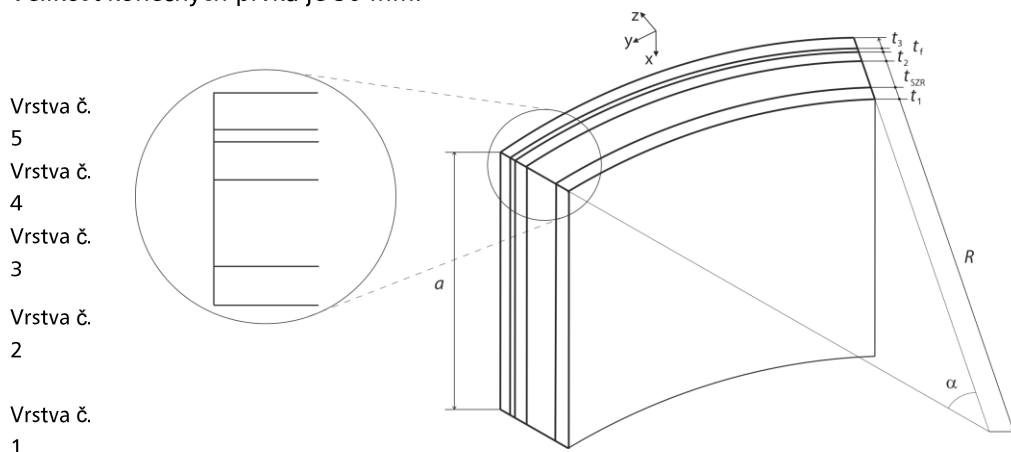
Uvažujme zakřivené vetknuté izolační sklo, se skladbou zobrazenou na Obr. 8.28 a parametry uvedenými v tabulce 8.5.

Rozměr skleněné tabule ve směru osy x x y z		$a = 1.0 \text{ m}$	
Vnitřní poloměr zakřivení		$R = 3.0 \text{ m}$	
Středový úhel		$\alpha = 30^\circ$	
Tloušťka tabule skla 1		$t_1 = 5 \text{ mm}$	
Tloušťka vzduchové vrstvy		$t_{SZR} = 12 \text{ mm}$	
Tloušťka tabule skla 2		$t_2 = 5 \text{ mm}$	
Tloušťka fólie		$t_f = 0.76 \text{ mm}$	
Tloušťka tabule skla 3		$t_3 = 5 \text{ mm}$	
Parametry skla	Modul pružnosti	$E = 70000 \text{ MPa}$	
	Smykový modul	$G = 28455 \text{ MPa}$	
	Poissonův součinitel	$\nu = 0.23$	
Parametry fólie	Modul pružnosti	$E = 3 \text{ MPa}$	
	Smykový modul	$G = 1 \text{ MPa}$	
	Poissonův součinitel	$\nu = 0.499$	
Klimatické zatížení	Výroba	Teplota	$T_p = 0^\circ \text{C}$
		Atmosférický tlak	$p_{p,met} = 101 \text{ kPa}$
		Nadmořská výška	$H_1 = 0 \text{ m}$

Montáž	Teplota (vnější=plyn=vnitřní)	$T_1 = 25\text{ °C}$
	Atmosférický tlak	$p_{out,met} = 101\text{ kPa}$
	Nadmořská výška	$H_2 = 0\text{ m}$

Tabulka 8.5: Parametry zakřiveného izolačního skla

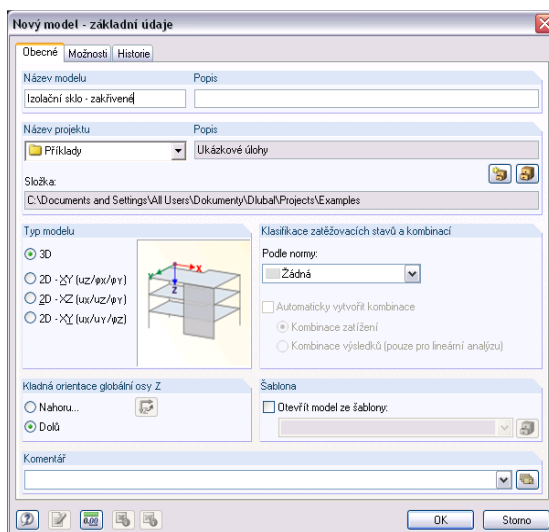
Velikost konečných prvků je 50 mm.



Obr. 8.28: Schéma příkladu se zakřiveným sklem

8.4.1 Postup výpočtu v RF-GLASS

Nejprve je zapotřebí v programu RFEM vytvořit *Nový model*.

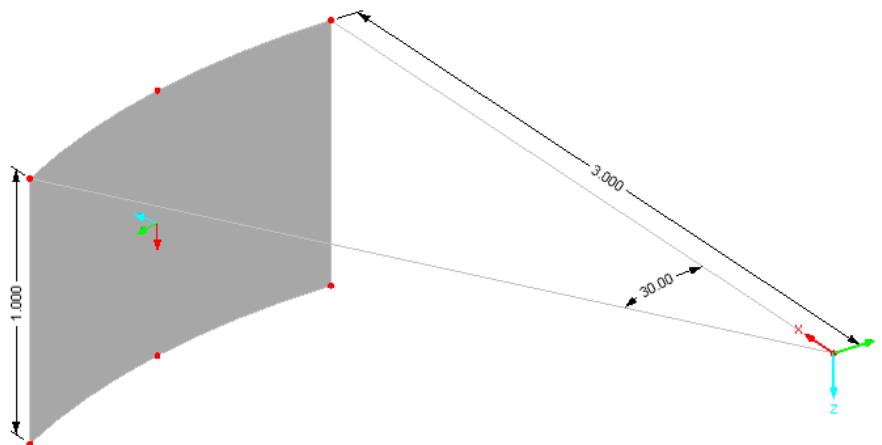


Obr. 8.29: Vytvoření nového modelu



Po založení nového modelu vytvoříme *Novou linii – oblouk pomocí středového uzlu , krajního uzlu a úhlu rozevření*, kdy vzdálenost mezi středovým a krajním uzlem bude 3 m a úhel rozevření 30°. Následně zvolíme *táhnout plochu z linie*, kdy výška $h=1\text{ m}$ a odsazení $e=0\text{ m}$. Poté zkontrolujeme, zdali osový systém plochy je shodný se zadáním, pokud tomu tak není, otočíme jej.

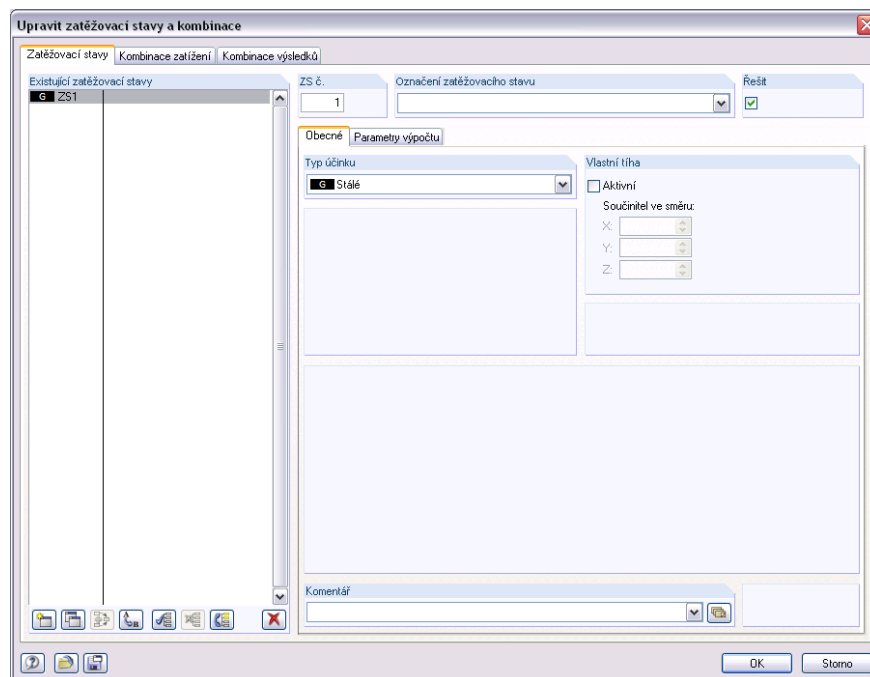
Protože chceme provést výpočet pouze v modulu RF-GLASS a pro tento modul se podpory zadávají přímo v modulu, v RFEM není zapotřebí zadávat žádné podpory.



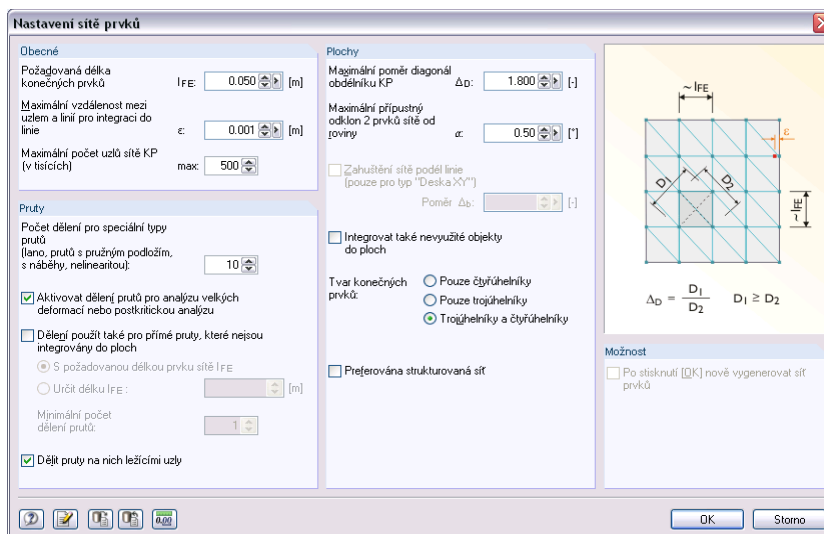
Obr. 8.30: Vytvoření nového modelu



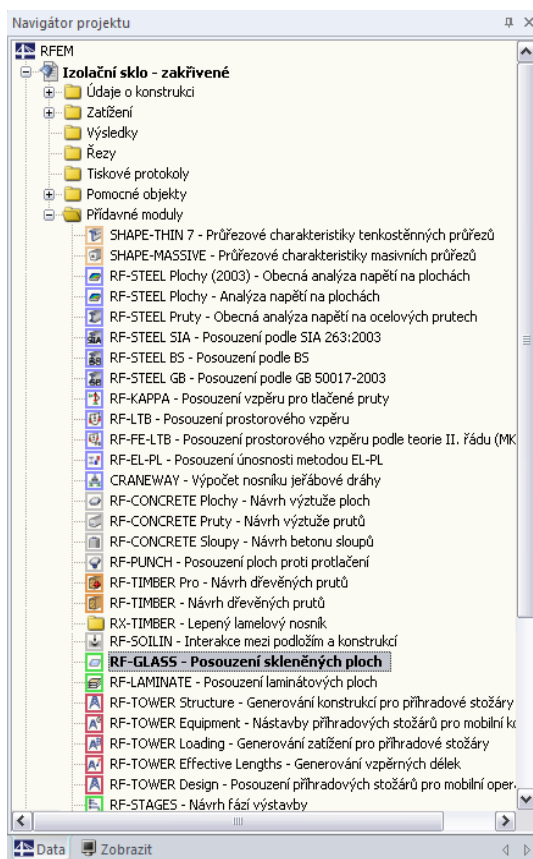
Přestože v modelu není žádné vnější zatížení, musíme vytvořit zatěžovací stav, aby bylo možné spustit výpočet v modulu RF-GLASS. V dialogu *Nastavení sítě prvků* musíme dále nastavit požadovanou délku konečných prvků na 50 mm.



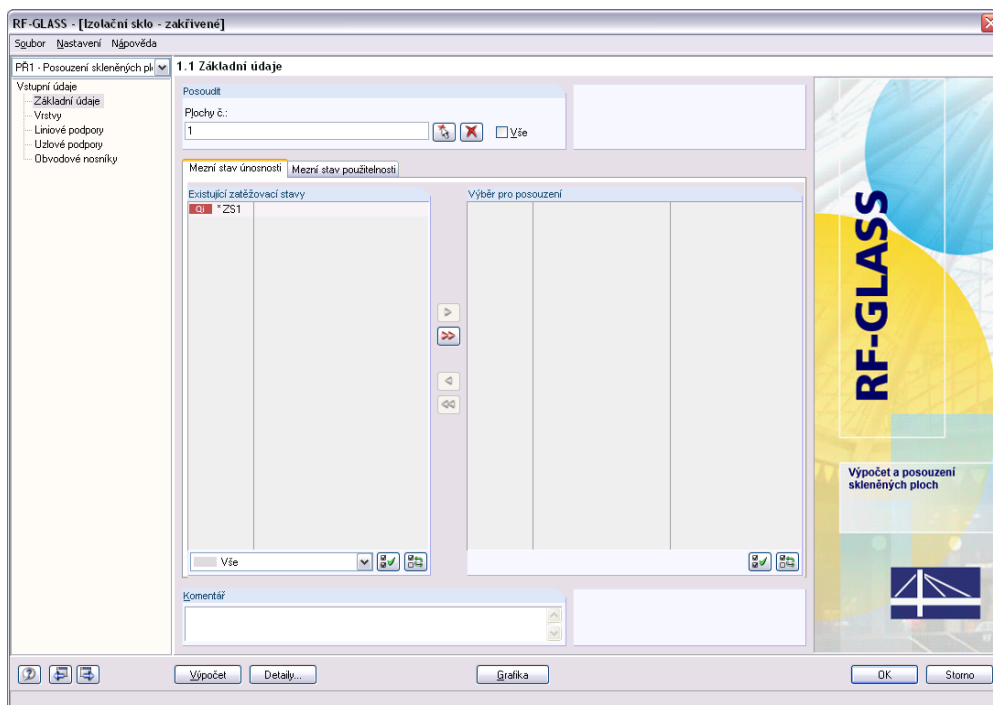
Obr. 8.31: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace – Zatěžovací stavy*

Obr. 8.32: Dialog *Nastavení sítě prvků*

Nyní je již možné otevřít modul RF-GLASS a vyplnit jednotlivé vstupní tabulky.

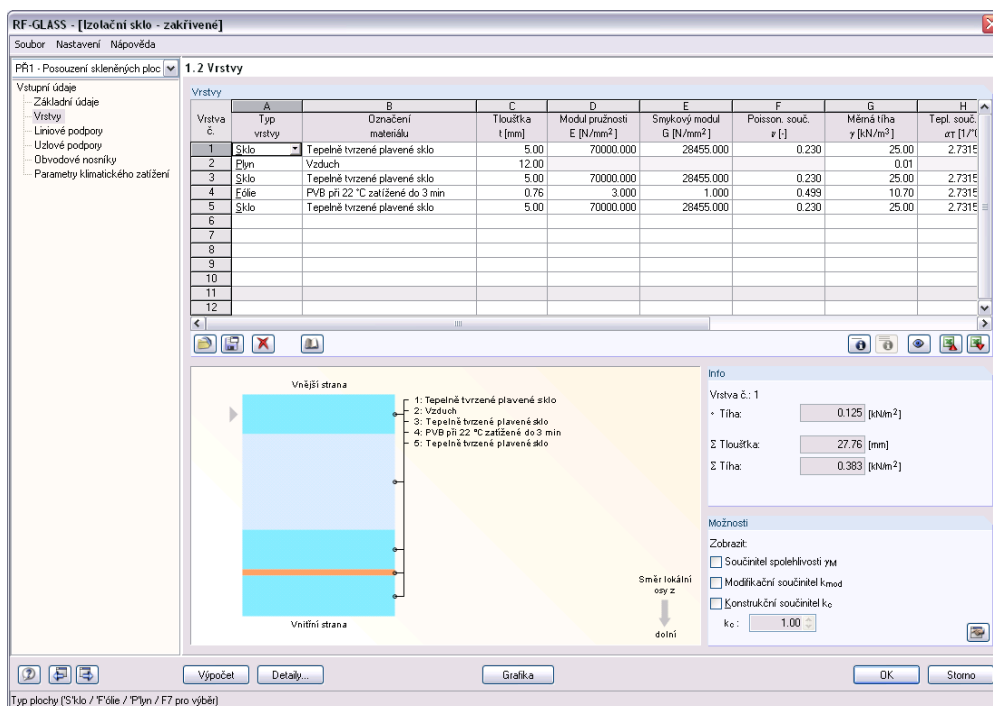
Obr. 8.33: Navigátor *Data: Přídavné moduly* → *RF-GLASS*

V tabulce 1.1 *Základní údaje* v tuto chvíli není možné vybrat zatěžovací stav, neboť neobsahuje žádné zatížení, což signalizuje hvězdička u ZS1, viz kapitola 3.1.1.



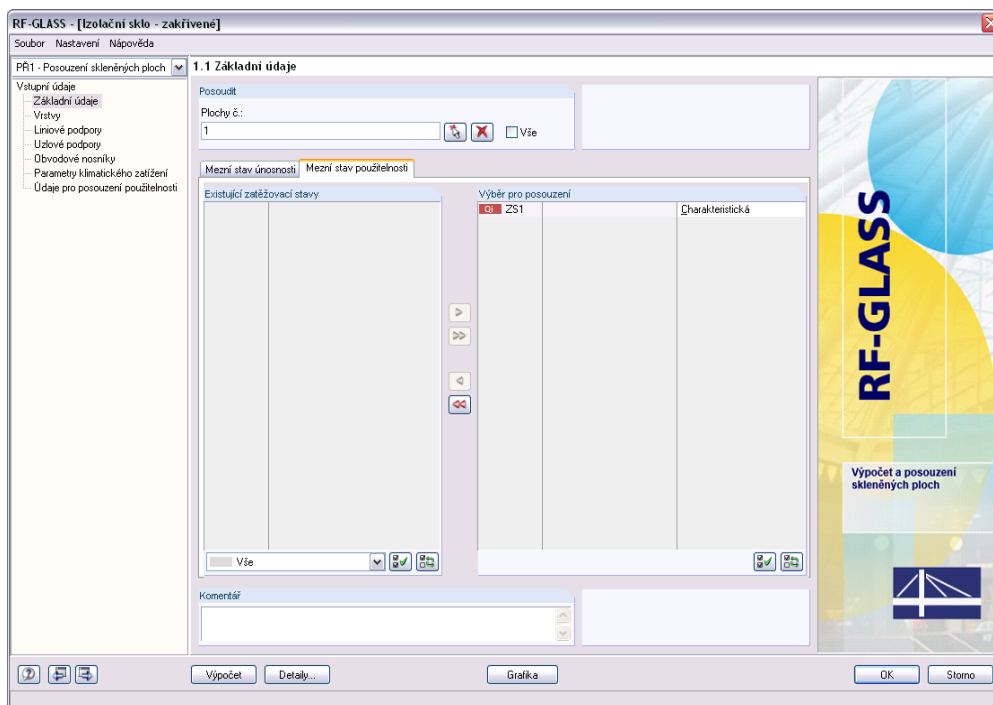
Obr. 8.34: Tabulka 1.1 Základní údaje

Proto musíme nejdříve vyplnit tabulku 1.2 Vrstvy, kde po zadání plynové vrstvy je možné se vrátit do tabulky 1.1. Zde je již výběr zatěžovacího stavu možný.



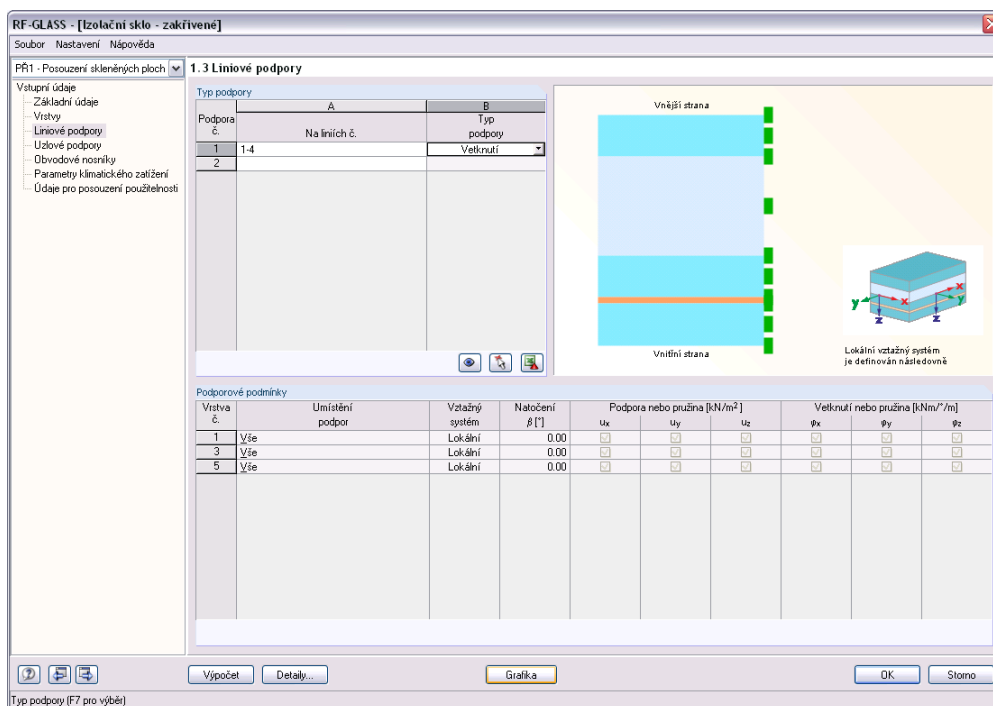
Obr. 8.35: Tabulka 1.2 Vrstvy

Protože nás v tuto chvíli zajímá pouze deformace konstrukce, vybereme ZS1 pouze v záložce Mezní stav použitelnosti v tabulce Základní údaje.



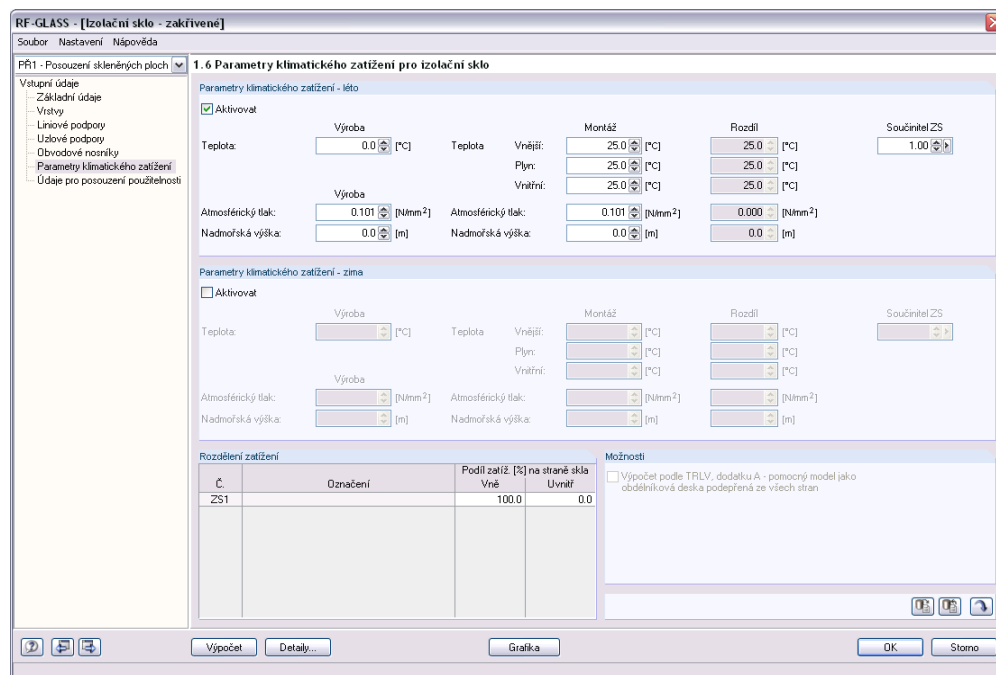
Obr. 8.36: Tabulka 1.1 Základní údaje – záložka Mezní stav použitelnosti

Nyní zvolíme jednu z liniových předdefinovaných podpor. V našem zadání se jedná o vetknutí. Tabulky *Uzlové podpory* a *Obvodové nosníky* jsou prázdné.



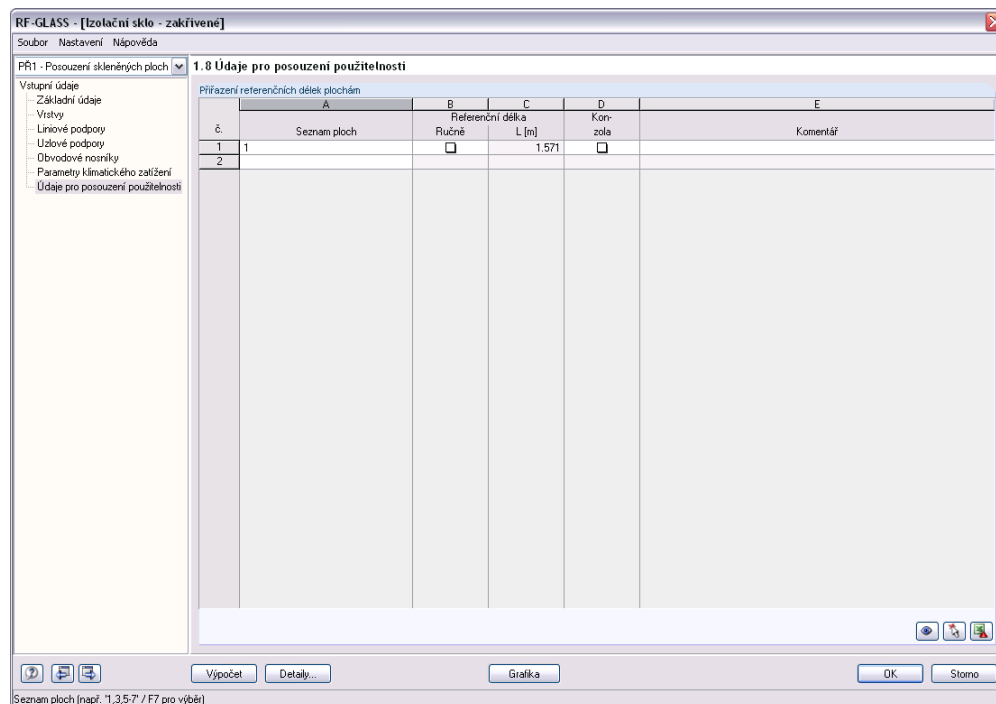
Obr. 8.37: Tabulka 1.3 Liniové podpory

Přejdeme proto k tabulce 1.6 *Parametry klimatického zatížení pro izolační sklo.*



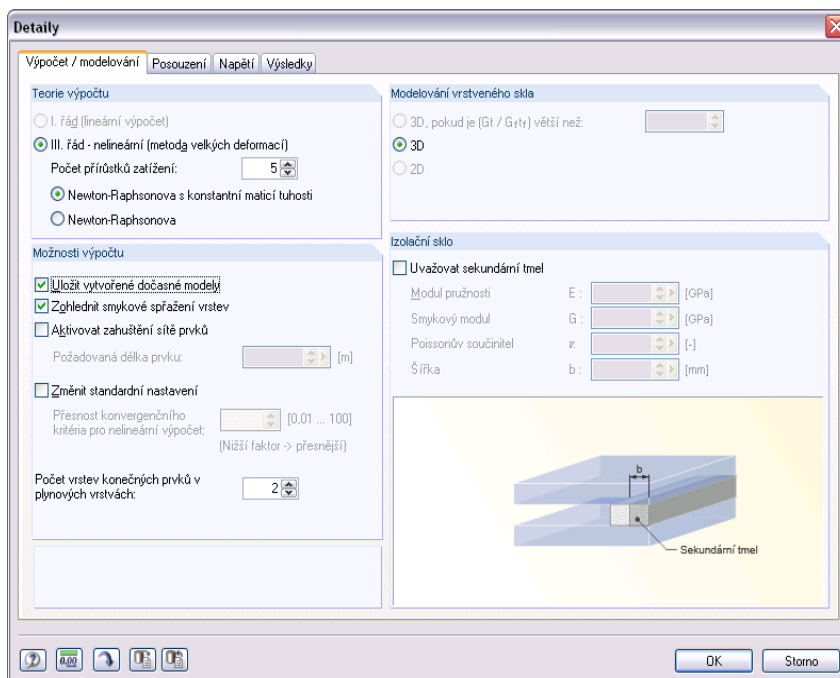
Obr. 8.38: Tabulka 1.6 Parametry klimatického zatížení pro izolační sklo

V tabulce *Údaje pro posouzení použitelnosti* vepíšeme do seznamu ploch plochu č. 1. Protože není zaškrtnuto políčko *Ručně*, automaticky se nám vyplní *Referenční délka L*.



Obr. 8.39: Tabulka 1.8 Údaje pro posouzení použitelnosti

V dialogu *Detaily* pak zkontrolujeme nastavení a spustíme výpočet. Můžeme se všimnout, že protože se jedná o izolační sklo, výpočet bude probíhat ve 3D, tedy jednotlivé vrstvy budou modelovány tělesy.



Obr. 8.40: Dialog *Detaily* – záložka *Výpočet / modelování*

V tabulce 3.1 *Max. posunutí* pak zjistíme průhyb tabulí skla.

RF-GLASS - [Izolační sklo - zakřivené]

Soubor Nastavení nápověda

PR1 - Posouzení skleněných ploch

3.1 Max. posunutí

Vstupní údaje

- Základní údaje
- Vrstvy
- Liniové podpory
- Uzlové podpory
- Obvedové nosníky
- Parametry klimatického zařazení

Údaje pro posouzení použitelnosti

Výsledky

- Max. posunutí
- Tlak plynu
- Výkaz materiálu

Plocha č.	A Bod ε	B Souřadnice bodu rastu [m]			D Z	E Zakřivovací stav	F Návrh. komb.	G Paket ε	H Posuny [mm]		J Využití u _e [%]
		X	Y	Z					u _e	Mezní u _e	
1	421	1.148	2.772	0.600	ZS1, Letní	CH	1	-0.265	5.236	0.05	
	454	1.148	2.772	0.650			2	0.123	5.236	0.02	
Maximální posun / Maximální využití											
1	421	1.148	2.772	0.600	ZS1, Letní	CH	1	-0.265	5.236	0.05	
	421	1.148	2.772	0.600	ZS1, Letní	CH	1	-0.265	5.236	0.05	

Maximální využití: 0.05 ≤ 1

Obr. 8.41: Tabulka 3.1 *Max. posunutí*

8.4.2 Kontrolní výpočet

Kontrolní výpočet příkladu bude stejně jako v kapitole 8.2 proveden přímo v programu RFEM. Protože výpočet izolačního skla probíhá ve 3D, upravíme model, který byl vytvořen modulem RF-GLASS, když jsme si v dialogu *Detaily* zvolili *Uložit vytvořené dočasné modely*, viz Obr. 8.40. Z modelu vytvořeného modulem RF-GLASS odstraníme plynné těleso a následně budeme zatěžovat plošným zatížením p zbylá tělesa představující jednotlivé tabule skla a fólie. Plošné zatížení p bude vypočteno následujícím postupem.

Uveďme kontrolní analytický výpočet vycházející ze stavové rovnice pro ideální plyn

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (8.11)$$

$$\frac{p_p V_{01}}{T_p} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_{\text{out}})]}{T_1} \quad (8.12)$$

kde C_v je poddajnost skleněných desek definovaná vztahem

$$C_v(p) = \frac{V(p)}{p} \quad \text{m}^3/\text{Pa} \quad (8.13)$$

kde $V(p)$ je objem vzniklý mezi nedeformovanou a deformovanou polohou dané skleněné vrstvy způsobený tlakem p . Hodnota poddajnosti je závislá na okamžité hodnotě tlaku.

Počáteční objem plynu v našem příkladu je

$$V_{01} = a \cdot b \cdot t_2 = 1.0 \cdot 1.5 \cdot 0.012 = 189.153 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Vnější tlak plynu v místě montáže se vypočítá podle

$$p_{\text{out}} = p_{\text{out,met}} - c_2 \cdot H_2 = p_{p,\text{met}} + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot H_2 = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H \quad (8.14)$$

Dosažením dostaneme

$$\frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_p - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H)]$$

$$C_v p_1^2 + [V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)] p_1 - \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = 0$$

Vnitřní tlak plynu v místě montáže je pak

$$p_1 = \frac{C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2 C_v}$$

$$p_p = p_{p,\text{met}} - c_2 \cdot H_1 = 101000 - 12 \cdot 0 = 101000 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{met}} = p_{\text{out,met}} - p_{p,\text{met}} = 101000 - 101000 = 0 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{out}} = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H = 101000 - 0 - 12 \cdot (100 - 0) = 101000 \text{ Pa}$$

Součinitel C_v je závislý na typu podepření, rozměrech a tuhosti skleněných tabulí. Vypočítá se pomocí následujících vztahů

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} \quad (8.15)$$

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{1}{p} \int_0^a \int_0^b w_1(x, y) dx dy \quad (8.16)$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{1}{p} \int_0^a \int_0^b w_2(x, y) dx dy \quad (8.17)$$

kde C_{v1} je poddajnost vrstvy 1 a C_{v2} je poddajnost vrstvy 3. Protože je tento součinitel závislý na tlaku $p = p_1 - p_{out}$, výpočet je iterační.

1. krok iterace

Volím $p_1 = 106000$ Pa, z něhož dostaneme

$$p = p_1 - p_{out} = 106000 - 10100 = 5000 \text{ Pa}$$

Maximální průhyb z RFEMu při nelineárním výpočtu, velikosti prvku sítě 50mm a zatížení $p = 5000$ Pa vyjde $w_1 = -0.178$ mm a $w_2 = 0.084$ mm.

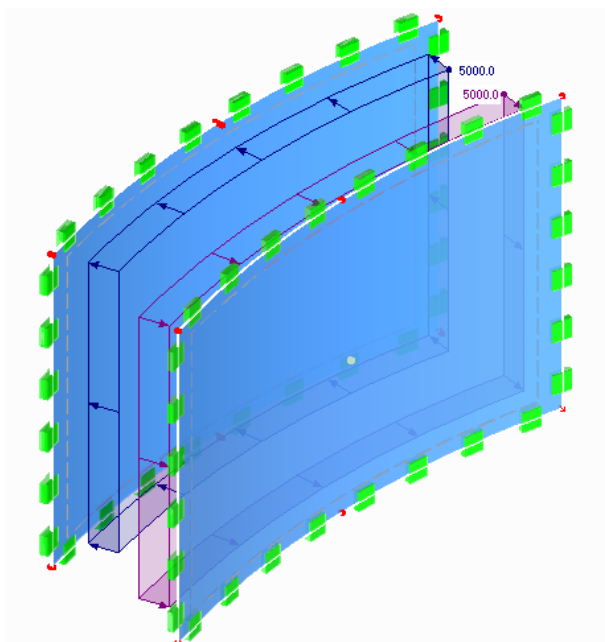
Pomocí modulu IMP získáme deformaci jednotlivých bodů konstrukce. Poté je možné vypočítat objem mezi zdeformovanou plochou a plochou před deformací

$$V_1 = 14.997 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ a } V_2 = 7.478 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{14.997 \cdot 10^{-5}}{5000} = 2.999 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{7.478 \cdot 10^{-5}}{5000} = 1.496 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 2.999 \cdot 10^{-8} + 1.496 \cdot 10^{-8} = 4.495 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$



Obr. 8.42: Schéma konstrukce v RFEMu

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{\left[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) \right]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v}$$

Předpočítejme si odmocninu z předchozího vztahu

$$\begin{aligned} & \sqrt{\left[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) \right]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}} = \\ & = \sqrt{\left[189.153 \cdot 10^{-4} - 4.495 \cdot 10^{-8} \cdot 101000 \right]^2 + 4 \cdot 4.495 \cdot 10^{-8} \frac{101000 \cdot 189.153 \cdot 10^{-4} \cdot 298.15}{273.15}} = \\ & = 0.02412 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tlak plynu je poté roven

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{\left[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) \right]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v} = \\ &= \frac{4.495 \cdot 10^{-8} \cdot 101000 - 189.153 \cdot 10^{-4} + 0.02412}{2 \cdot 4.495 \cdot 10^{-8}} = 108351 \text{ Pa} \end{aligned}$$

2. krok iterace

Volím $p_1 = 108351 \text{ Pa}$, z něhož dostaneme

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 108351 - 101000 = 7351 \text{ Pa}$$

Maximální průhyb ploch z RFEMu při nelineárním výpočtu, velikosti prvku sítě 50 mm a zatížení $p = 7351 \text{ Pa}$ vyjde $w_1 = -0.265 \text{ mm}$ a $w_2 = 0.123 \text{ mm}$.

Pomocí modulu IMP získáme deformaci jednotlivých bodů konstrukce. Poté je možné vypočítat objem deformace $V_1 = 2.212 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ a $V_2 = 1.099 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$.

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{2.212 \cdot 10^{-4}}{7351} = 3.008 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{1.099 \cdot 10^{-4}}{7351} = 1.494 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 3.008 \cdot 10^{-8} + 1.494 \cdot 10^{-8} = 4.503 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) - V_{01} + \sqrt{\left[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \cdot \Delta H) \right]^2 + 4C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2C_v} = 108349 \text{ Pa}$$

3. krok iterace

Postup v jednotlivých krocích je nadále shodný, proto nyní již vypíšeme jen nejdůležitější hodnoty.

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 108349 - 101000 = 7349 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -0.265 \text{ mm}, w_2 = 0.123 \text{ mm}$$

$$V_1 = 2.210 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, V_2 = 1.098 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 3.008 \cdot 10^{-8} + 1.494 \cdot 10^{-8} = 4.502 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 108349 \text{ Pa}$$

Protože jsou výsledky v 2. kroku iterace shodné s výsledky ve 3. kroku iterace, je iterační proces u konce. Maximální průhyb je ustálen na hodnotách $w_1 = -0.265 \text{ mm}$, $w_2 = 0.123 \text{ mm}$.

Pokud se podíváme na výsledky z modulu RF-GLASS, které jsou $w_1 = -0.265 \text{ mm}$ a $w_2 = 0.123 \text{ mm}$, je patrné, že se výsledky naprosto shodují.

A Literatura

- [1] TRLV. *Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen*. Srpen 2006. 9 s.
- [2] WELLER, Bernhard, et al. *Glasbau-Praxis : Konstruktion und Bemessung*. Berlin : Bauwerk, 2009. 263 s. ISBN 978-3-89932-190-6.
- [3] WELLER, Bernhard, et al. *Glasbau-Praxis in Beispielen : Konstruktion und Berechnung*. Berlin : Bauwerk, 2005. 150 s. ISBN 3-934369-47-2.
- [4] DIN 18008-1. *Glas im Bauwesen — Bemessungs- und Konstruktionsregeln — Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen*. Prosinec 2010. 14 s.
- [5] DIN 18008-2. *Glas im Bauwesen — Bemessungs- und Konstruktionsregeln — Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen*. Prosinec 2010. 13 s.
- [6] OFNER, Robert. *Leichtbau und Glasbau: Bemessung von Glaskonstruktionen, Přednáškový materiál*. Technická univerzita Graz, Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke, zimní semestr 2003/2004.
- [7] David R. Lide, ed. *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 89th Edition (Internet Version 2009)*, CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL.

B Index

A	
Atmosférický tlak.....	31
B	
Bach.....	44
Bod rastru.....	45, 48
Bod sítě KP.....	45, 48
D	
Databáze materiálů.....	20, 22
Desetinná místa.....	58
Detaily.....	17, 36
DIN 18008-2	
2010-12, dodatek A.....	32
E	
Export tabulek.....	22, 27
Export výsledků.....	59
F	
Filtr.....	21, 51
Fólie.....	10
G	
Grafika.....	17, 22
H	
Horizontální.....	21
I	
Import tabulek.....	22
Instalace.....	5
J	
Jednotky.....	58
K	
Kirchhoff.....	43
Klávesové zkratky.....	61
Kombinace účinků.....	40
Komentář.....	17
Konstrukční součinitel.....	22
L	
Liniové podpory.....	23, 70, 88
Listování v tabulkách.....	17, 47
M	
Matice tuhosti.....	13, 62
Max. napětí po plochách.....	50
Max. napětí po zatíženích.....	48
Max. posunutí.....	51
Mezní napětí.....	19
Mezní napětí.....	49
Mindlin.....	43
MISES.....	44
Modifikační součinitel.....	22, 33, 39, 40, 49
Montáž.....	31
N	
Nadmořská výška.....	31
Napětí.....	40
Napětí po bodech.....	50
Navigátor.....	17, 47
Návrhová situace.....	39
Návrhový případ.....	57
O	
Obvodové nosníky.....	30
P	
Panel.....	7
Parametry klimatického zatížení.....	30
Posoudit.....	17
Posouzení.....	39
Případ v RF-GLASS.....	57
Průhyb.....	19, 40
R	
RANKINE.....	44
Referenční délka.....	34, 51
Řezy.....	55
Rozdělení zatížení.....	32
S	
Sekundární tmel.....	11
Sítí prvků.....	38
Sklo izolační.....	11, 21, 30, 38, 66
Sklo vrstvené.....	10
Složky napětí.....	37, 55
Smykové sprážení vrstev.....	10, 13, 15, 37
Součinitel spolehlivosti.....	19, 22, 39
Souřadnice.....	48
Spuštění modulu RF-GLASS.....	6
Spuštění výpočtu.....	46
Srovnávací napětí.....	44
Symbole.....	9

T

Tabulky.....	17
Teorie ohybu desek.....	43
Teorie výpočtu.....	37
Teplota.....	31
Tisk zobrazení.....	55
Tresca.....	44
Třída trvání zatížení.....	33
TRLV.....	21
TRLV, dodatek A.....	32, 78

U

Údaje pro posouzení použitelnosti.....	34
Ukončení modulu RF-GLASS.....	17, 47
Uložit vytvořené dočasné modely.....	37
Uživatelský profil.....	59

Uzlové podpory.....	27
---------------------	----

V

Vertikální.....	21
Vrstvy.....	20
Výkaz materiálu.....	53
Výpočet.....	17, 35
Výpočet / modelování.....	37
Výpočet podle TRLV, dodatku A.....	78, 80
Výroba.....	31
Výsledky.....	45, 47
Výstupní protokol.....	55
Využití.....	49, 52

Z

Základní údaje.....	17
Zatěžovací stav.....	17, 18, 19, 33