



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Analýza pevnosti velkoobjemových
lepených akvárií**

**Large-Volume Glued Aquariums Strength
Analysis**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Vojtěch SÝKORA

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sýkora** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **492447**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza pevnosti velkoobjemových lepených akvárií

Název bakalářské práce anglicky:

Large-Volume Glued Aquariums Strength Analysis

Pokyny pro vypracování:

V rámci řešení bakalářské práce vypracujte rešerši problematiky návrhu a pevnosti lepených akvárií. Věnujte pozornost akváriím velkých rozměrů. Rovněž popište případná specifika z hlediska vlastností skla a pevnosti vhodných lepidel na lepení skla. Dále proveďte návrhy možných konstrukčních řešení akvárií velkého objemu a vyberte variantu nejvýhodnější. Návrh zvolené konstrukční varianty akvária velkého objemu vypracujte formou 3D modelu a 2D výkresové sestavy včetně potřebných návrhových a kontrolních výpočtů s použitím dostupného konstrukčního a výpočtového SW (MKP). Na závěr proveďte zhodnocení zvoleného konstrukčního návrhu velkoobjemového akvária.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spojе a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů. 1. svazek. 5. vyd. Praha: SNTL, 1989.
DIN 32622 Aquariums of glass - safety requirements and testing
URL: www.mitcalc.com (SW 'MitCalc')

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Kanaval, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **11.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jan Kanaval, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Analýza pevnosti velkoobjemových lepených akvárií“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Kanavala, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 31. 05. 2023

.....
Vojtěch Sýkora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mojí bakalářské práce panu Ing. Janu Kanavalovi, Ph.D. za všestrannou pomoc, množství cenných rad, podnětů, doporučení, připomínek a ochotu při konzultacích poskytnutých ke zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Bc. Zdeňkovi Padovcovi, Ph.D. za rady ohledně řešení MKP úloh. Nakonec bych rád poděkoval také rodině za podporu při studiích.

Anotační List

| | |
|-----------------------|---|
| Jméno autora: | Vojtěch SÝKORA |
| Název BP: | Analýza pevnosti velkoobjemových lepených akvárií |
| Anglický název: | Large-Volume Glued Aquariums Strength Analysis |
| Rok: | 2023 |
| Studijní program: | B2341 Strojírenství |
| Obor studia: | 3901R051 Konstruování podporované počítačem |
| Ústav: | Ústav konstruování a částí strojů |
| Vedoucí BP: | Ing. Jan Kanaval, Ph.D. |
| Bibliografické údaje: | počet stran 52 |
| | počet obrázků 38 |
| | počet tabulek 18 |
| | počet příloh 11 |
| Klíčová slova: | Sklo, Plast, Lepidlo, Velkoobjemová akvária, MKP Analýza Akvária |
| Keywords: | Glass, Plastic, Adhesive, Large-Volume Aquariums, FEM Analysis of the Aquarium |
| Anotace: | Tato bakalářská práce se zabývá analýzou pevnosti a deformace velkoobjemových lepených akvárií. Teoretická část práce se zabývá rešerší vhodných materiálů a lepidel pro akvária. V praktické části práce byla provedena pevnostně deformační analýza několika variant velkoobjemových akvárií, z nichž byla jedna vybrána z bezpečnostního a ekonomického hlediska. |
| Abstract: | This bachelor thesis tackles the analysis of strength and deformation of large-volume bonded aquariums. The theoretical part of the thesis consists of a search for suitable materials and adhesives for aquariums. In the practical part of the thesis, a strength-deformation analysis of several variants of large volume aquariums was carried out. One was selected based on safety and economic considerations. |

Obsah

| | |
|---|--------|
| 1. Úvod | - 3 - |
| 1.1. Vytyčení konkrétních cílů bakalářské práce | - 3 - |
| 2. Materiály akvárií..... | - 4 - |
| 2.1. Sklo | - 4 - |
| 2.2. Plasty..... | - 9 - |
| 2.2.1. Reaktoplasty | - 10 - |
| 2.2.2. Termoplasty..... | - 10 - |
| 3. Technologie pro výrobu akvárií | - 13 - |
| 3.1. Lepidlo | - 15 - |
| 3.2. Složení a tvar makromolekuly | - 15 - |
| 3.3. Polymerační stupeň..... | - 15 - |
| 3.4. Viskozita | - 15 - |
| 3.5. Alkalita a kyselost lepidla | - 15 - |
| 3.6. Homogenita..... | - 15 - |
| 3.7. Objemová stálost filmu | - 15 - |
| 3.8. Struktura a složení plniva..... | - 16 - |
| 3.9. Rozdělení lepidel dle použití | - 16 - |
| 3.10. Lepidla pro lepení kovů..... | - 16 - |
| 3.11. Lepidla pro lepení plastů | - 17 - |
| 3.12. Lepení reaktoplastů | - 17 - |
| 3.13. Lepení termoplastů..... | - 17 - |
| 3.14. Lepidla pro lepení skla | - 17 - |
| 3.15. Mechanické namáhání lepených spojů..... | - 18 - |
| 4. Pevnostně deformační analýza akvária..... | - 20 - |
| 4.1. Definice úlohy..... | - 20 - |
| 4.2. Materiál..... | - 22 - |
| 4.3. Zatížení | - 23 - |
| 4.4. Nastavení simulace | - 24 - |
| 4.5. Výsledky simulace | - 26 - |
| 4.6. Namáhání celé sestavy | - 28 - |
| 4.7. Namáhání adheziva | - 32 - |
| 4.8. Deformace celé sestavy | - 34 - |
| 4.9. Deformace adheziva | - 38 - |
| 4.10. Souhrn výsledků..... | - 42 - |
| 4.11. Cenové zhodnocení | - 45 - |

| | | |
|-------|--------------------------|--------|
| 4.12. | Celkové zhodnocení | - 46 - |
| 5. | Závěr | - 47 - |
| 6. | Použitá literatura | - 49 - |
| 7. | Seznam obrázků | - 51 - |
| 8. | Seznam tabulek | - 52 - |
| 9. | Seznam příloh | - 52 - |

Seznam použitých veličin, symbolů a zkratek

| | | |
|----------------|-----------------|--|
| A | $[mm^2]$ | Plocha průřezu |
| b | $[mm]$ | Výška vzorku |
| c | $[mm]$ | Délka trhlinky |
| D | $[mm]$ | Délka akvária |
| d_a | $[mm]$ | Atomová vzdálenost |
| E | $[N/mm^2]$ | Modul pružnosti v tahu |
| F | $[N]$ | Síla |
| $f_{b,k}$ | $[N/mm^2]$ | Charakteristická pevnost upraveného skla |
| $f_{c,G}$ | $[N/mm^2]$ | Mez pevnosti dle Griffitha |
| $f_{c,t}$ | $[N/mm^2]$ | Maximální teoretická pevnost |
| $f_{g,d}$ | $[N/mm^2]$ | Návrhová pevnost upraveného skla |
| $f_{g,k}$ | $[N/mm^2]$ | Charakteristická pevnost plaveného skla |
| G | $[N/mm^2]$ | Modul pružnosti ve smyku |
| g | $[m.s^{-2}]$ | Tíhové zrychlení |
| H | $[mm]$ | Hloubka akvária |
| h | $[m]$ | Výška hladiny |
| K_I | $[MPa.m^{1/2}]$ | Součinitel intenzity napětí |
| K_{IC} | $[MPa.m^{1/2}]$ | Lomová houževnatost |
| k | $[-]$ | Bezpečnost |
| k_{mod} | $[-]$ | Součinitel délky trvání zatížení |
| k_{sp} | $[-]$ | Součinitel povrchu skla |
| k_v | $[-]$ | Součinitel způsobu výroby skla |
| l_0 | $[mm]$ | Původní délka |
| m | $[kg]$ | Hmotnost |
| p | $[Pa]$ | Hydrostatický tlak |
| q | $[-]$ | Poměr pevnosti v tahu a v tlaku |
| T_g | $[°C]$ | Teplota skelného toku |
| T_f | $[°C]$ | Teplota viskózního toku |
| u | $[mm]$ | Posun horní vrstvy vzorku |
| $u_{cel.}$ | $[mm]$ | Celková deformace (posun) |
| u_{-x} | $[mm]$ | Deformace ve směru $-X$ (posun) |
| u_{+y} | $[mm]$ | Deformace ve směru $+Y$ (posun) |
| u_{-z} | $[mm]$ | Deformace ve směru $-Z$ (posun) |
| $V_{těl.}$ | $[m^3]$ | Objem tělesa |
| V | $[mm]$ | Výška akvária |
| γ | $[Pa.mm]$ | povrchová energie |
| $\gamma_{M,A}$ | $[-]$ | Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (plavené sklo) |
| $\gamma_{M,v}$ | $[-]$ | Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (upravené sklo) |
| γ_p | $[-]$ | Poměrné posunutí |
| Δl | $[mm]$ | Prodloužení |
| ε | $[-]$ | Poměr prodloužení |
| η | $[-]$ | Poměrná deformace ve směru kolmém ke směru napětí |
| μ | $[-]$ | Poissonovo číslo |
| ρ | $[kg/m^3]$ | Hustota |
| σ | $[N/mm^2]$ | Napětí v tahu |
| σ_D | $[N/mm^2]$ | Dovolené napětí |
| σ_{max} | $[N/mm^2]$ | Maximální napětí |

| | | |
|------------------------|------------|---|
| σ_{\max_in} | $[N/mm^2]$ | Maximální napětí na vnitřní straně akvária |
| σ_{\max_out} | $[N/mm^2]$ | Maximální napětí na vnější straně akvária |
| σ_{\min} | $[N/mm^2]$ | Minimální napětí |
| σ_{\min_in} | $[N/mm^2]$ | Minimální napětí na vnitřní straně akvária |
| σ_{\min_out} | $[N/mm^2]$ | Minimální napětí na vnější straně akvária |
| σ_{pd} | $[N/mm^2]$ | Pevnost v tlaku |
| σ_{pt} | $[N/mm^2]$ | Pevnost v tahu |
| σ_{red} | $[N/mm^2]$ | Redukované napětí |
| $\sigma_{red}^{ener.}$ | $[N/mm^2]$ | Redukované napětí dle energetické hypotézy |
| σ_{red_in} | $[N/mm^2]$ | Redukované napětí na vnitřní straně akvária |
| σ_{red_out} | $[N/mm^2]$ | Redukované napětí na vnější straně akvária |
| τ | $[N/mm^2]$ | Napětí ve smyku |
| ABS | | Akrylonitril Butadien Styren |
| EP | | Epoxidy |
| IR | | Syntetický kaučuk |
| MKP | | Metoda konečných prvků |
| NR | | Přírodní kaučuk |
| PC | | Polykarbonát |
| PE | | Polyetylen |
| PF | | Fenolické pryskyřice |
| PMMA | | Polyakrylát |
| PP | | Polypropylen |
| PS | | Polystyren |
| PVC | | Polyvinylchlorid |
| UP | | Nenasycené polyestery |

1. Úvod

Akvaristiku lze popsat jako aklimatizaci a chov ryb v zajetí. Jedná se o snahu vytvořit pro rostliny, ryby a jiné živočichy přirozené prostředí. V objemovém porovnání moří, řek, jezer či rybníků je akvárium pouze drobnou napodobeninou prostředí. Z tohoto pohledu jde snadno dojít k závěru, že pro ideální chov živočichů v akváriích je ideální vytvořit akvária co největších rozměrů. [1]

První část této bakalářské práce se zabývá rešerší vhodných materiálů pro akvária a akvária velkoobjemová a také vlastnostmi těchto materiálů. Dále pojednává o lepení, použití lepidel a o lepidlech vhodných k lepení materiálů používaných pro akvária.

Druhá část této práce se zabývá pevnostně deformační analýzou velkoobjemového akvária v MKP softwaru, zadaného vedoucím práce Ing. Janem Kanavalem, Ph.D.

V závěru je provedeno celkové vyhodnocení výsledků jednotlivých konstrukčních variant včetně jejich ekonomického zhodnocení.

Cílem této bakalářské práce je sjednotit materiálové informace a informace týkající se velkoobjemových akvárií, jejich konstrukčních provedení a finanční náročnosti na jejich realizaci. Zhodnocení nejvhodnější konstrukční varianty dle zadaných rozměrů.

1.1. Vytyčení konkrétních cílů bakalářské práce

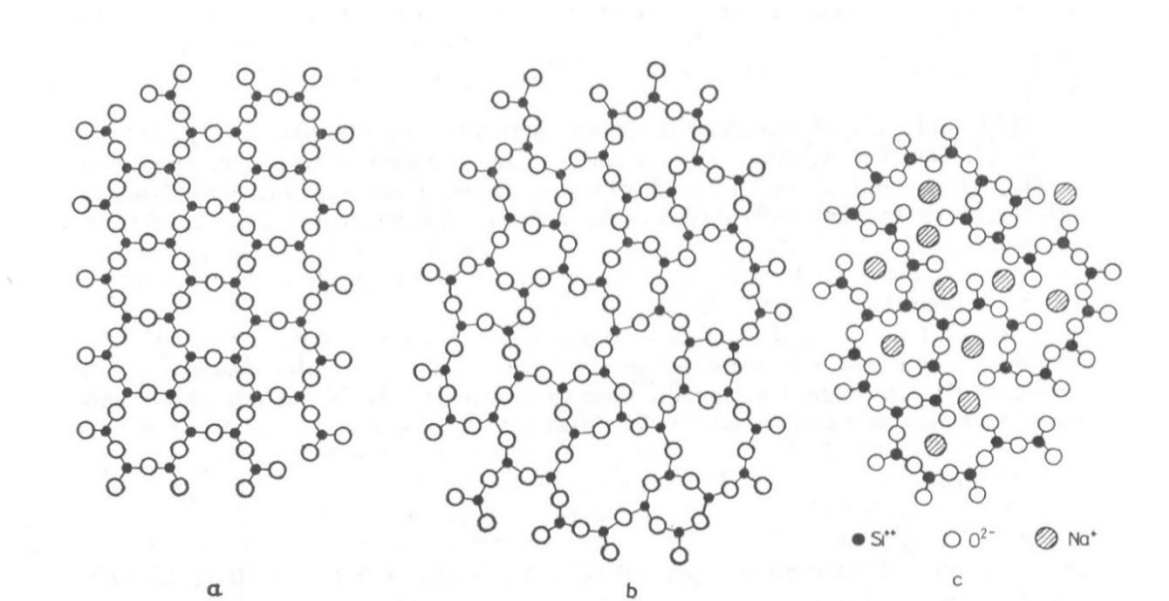
- 1) Vypracování rešerše
- 2) Návrh a analýzy konstrukčních variant
- 3) Souhrn výsledků navržených variant a jejich zhodnocení
- 4) Ekonomické zhodnocení

2. Materiály akvárií

V akvaristice se používají nejčastěji dva druhy materiálů pro akvária, sklo a akrylátové sklo. Skleněná akvária jsou doporučována pro začátečníky a pro objem plněného prostoru do 600 litrů. Je to způsobeno cenovou dostupností. Skleněná akvária jsou více oteruvzdorná než akrylátová, tedy začátečník se nemusí bát zničení povrchu při údržbě. Závisí též na tvaru, u skleněných akvárií jsme omezeni pouze na kubické tvary, u akrylátových jsme tvarově téměř neomezeni. [2]

2.1. Sklo

Sklo je anorganický amorfní materiál, který vzniká tavením a řízeným ochlazením skloviny bez krystalizace. Struktura skla je bez pravidelného, symetrického a periodického uspořádání základních stavebních jednotek na delší vzdálenost (Obr. 1). [3]

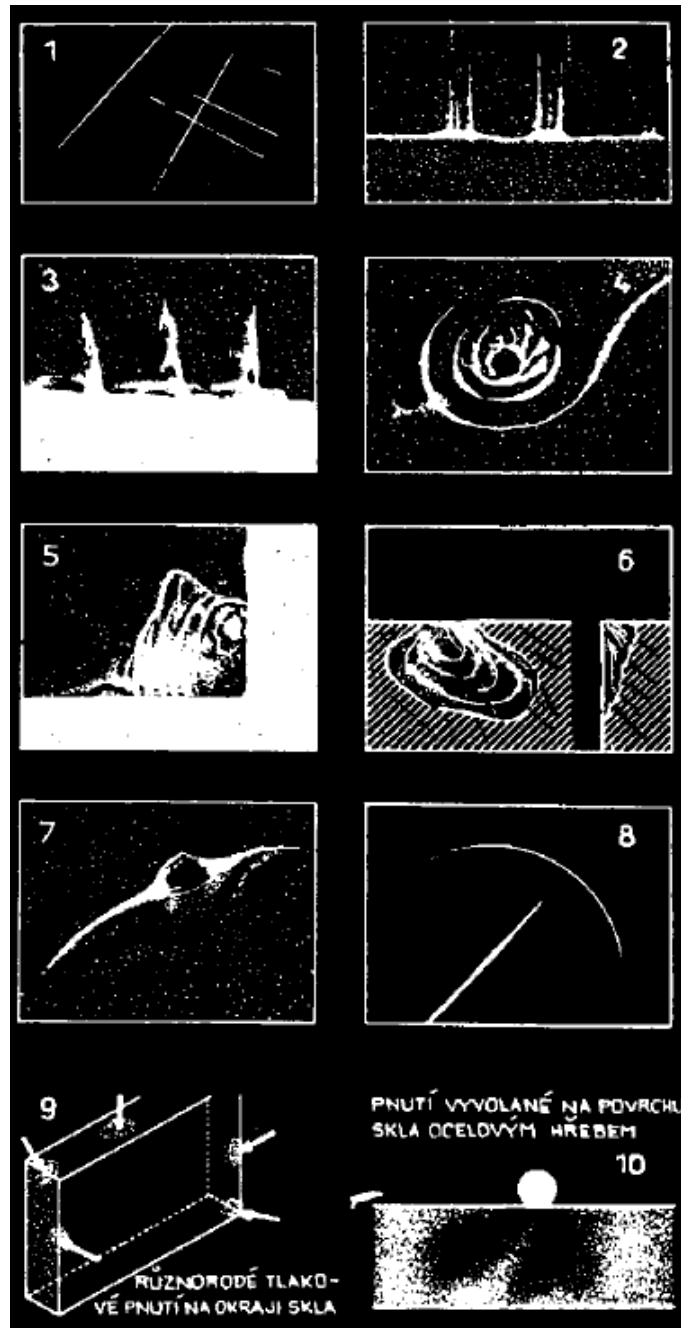


Obr. 1 Znárodnění struktur: a) krystalický křemen b) sklený křemen c) sodnokřemičité sklo [4]

Nejběžněji bývají skla oxidická (křemičitá nebo boritokřemičitá). Pro speciální účely se používají skla fluoridová, fosforečná nebo chalkogenidová. [3]

Podobně jako litina s lupínkovým grafitem (křehký materiál), má sklo větší pevnost v tlaku než v tahu (pevnost skla v tlaku je cca 10x větší než v tahu). Teoretická pevnost v ohybu je v rozsahu $(1 \div 100) \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$. [5] Skutečná pevnost v ohybu žíhaných skel je $(20 \div 110) \text{ N/mm}^2$. [6] Hodnota skutečné pevnosti je způsobena vadami materiálu, které vznikají při výrobě, viz Obr. 2. Nejčastěji to bývají tzv. Griffithovy trhlinky na povrchu, které jsou úzké, dlouhé a hluboké. Rozměry trhlinek bývají několik desítek nm. Pro volbu skla je třeba posoudit jeho mechanické vlastnosti, k tomu je třeba znát: [7]

- modul pružnosti a Poissonovu konstantu,
- lomovou a rázovou houževnatost,
- pevnost v tahu, tlaku, ohybu a smyku,
- hustotu složení skla,
- ostatní faktory (tvrdost, kvalitu povrchu skla, únavu a stárnutí, rozměr a tvar výrobku, CHTZ). [7]



Obr. 2 Nejčastější závady na skleněných tabulích, způsobené mechanickými a tepelnými vlivy: 1 – jemné škráby, 2 – vyštípnutí okraje skla, 3 – řezové trhlinky na hraně tabule, 4 – průběh prasklin při nárazu na povrch skla, 5 – roztržštěný roh, 6 – lasturový lom na okraji tabule, 7 – popraskání skla lokálním prudkým ohřátím, 8 – praskliny na skleněných tabulích [7]

a) Modul pružnosti a Poissonova konstanta

Youngův modul (modul pružnosti v tahu) E je definován Hookeovým zákonem, který lze formulovat ve tvaru:

Normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení.

A zapsat matematicky:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

Modul pružnosti v tahu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [N/mm^2] \quad (2)$$

Modul pružnosti ve smyku:

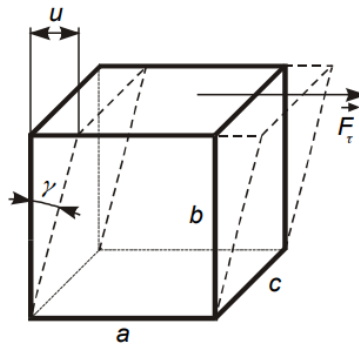
$$G = \frac{\tau}{\gamma_p} [N/mm^2] \quad (3)$$

kde: σ – napětí v tahu [N/mm^2],

ε – poměrné prodloužení; $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ (Δl - prodloužení [mm], l_0 - původní délka [mm])

τ – napětí ve smyku [N/mm^2]

γ_p – poměrné posunutí; $\gamma_p = \frac{u}{b}$ (u – posun horní vrstvy vzorku (v níž působí smykové napětí [mm], b – výška vzorku [mm], rozměry viz Obr. 3)



Obr. 3 Namáhání smykem hranolu o rozměrech a , b , c [8]

Poissonova konstanta označuje poměr relativního prodloužení namáhaného vzorku k jeho relativnímu příčnému zkrácení. Častěji se v praxi používá převrácená hodnota, a to tzv. Poissonovo číslo μ . Hodnota Poissonova čísla je bezrozměrná a nabývá pro většinu materiálů hodnotu ($0 \div 0,5$). [7; 9]

Pro izotropní materiály lze poté Poissonovo číslo popsat jako poměr mezi poměrnou deformací ve směru napětí a poměrnou deformací ve směru kolmém k působícímu napětí ve tvaru: [7], [9]

$$\mu = \frac{\eta}{\varepsilon} = \frac{E - 2G}{2G} \quad (4)$$

kde: μ – Poissonovo číslo [-],

η – poměrná deformace ve směru kolmém ke směru napětí [-],

ε – poměrná deformace ve směru napětí [-].

Moduly pružnosti E vychlazených skel se snižují se vzrůstající teplotou tak, že Poissonovo číslo μ nepatrně vzrůstá. Nevychlazená, eventuálně zakalená skla vykazují moduly pružnosti v tahu E nižší než skla vychlazená, zároveň zakalená skla mají Youngův modul pružnosti E nižší cca o 7 % než skla nezakalená. [7; 10]

Tabulka 1 Modul pružnosti E , G a Poissonova konstanta μ u často používaných skel [10]

| Druh skla | $E = [N/mm^2]$ | $G = [N/mm^2]$ | μ |
|--------------------------|----------------|----------------|-------|
| sodnodraselný křišťál | 66 851 | 27 458 | 0,217 |
| Olovnaté sklo (21 % PbO) | 57 417 | 24 133 | 0,211 |
| Ploché sklo | 72 479 | 29 753 | 0,220 |
| Sklo simax | 62 918 | 26 722 | 0,176 |

b) Lom a rázová houževnatost

Lom materiálu lze definovat jako vzájemné oddělení jednotlivých částí materiálu, působením mechanické síly. Neboli, lom končí při rozdělení materiálu spolu s tahovou zkouškou. [9]

Rozlišujeme dva druhy lomů dle potřebné energie ke vzniku lomové plochy, lomy houževnaté (tvárné) a lomy křehké (štěpné). Houževnaté lomy spotřebují více energie k tvorbě lomu, nastávají u tvárných materiálů a jsou doprovázeny plastickou deformací. Křehké lomy spotřebují málo energie, proto probíhají náhle a velmi rychle. [9]

Při vyhodnocování lomu skla je možno brát v potaz hypotézu, že Hookeův zákon platí pro skleněný materiál do bodu lomu a případně vzniklé plastické přetvoření se projevuje pouze v těsné blízkosti trhliny lomu. Lom skla tedy vzniká vytvořením trhlinky a následně jejím šířením. Každý materiál má vlastní kritickou hodnotu součinitele intenzity napětí K_{Ic} , při kterém je trhlinka stabilní a nešíří se dále materiálem, rozvoj dalších trhlinek nastává až při překročení této hodnoty, tzv. lomové houževnatosti K_{Ic} . Kromě složení materiálu (viz Tabulka 2), je houževnatost zároveň ovlivněna teplotou, s klesající teplotou klesá. Tento faktor je zapotřebí zohlednit při návrhu bezpečnosti konstrukce a pravidelně ji kontrolovat, pokud není kontinuálně měřena např. tenzometry. [7; 9]

Tabulka 2 Hodnoty lomové houževnatosti materiálů při 20 °C [9]

| Materiál | $K_{Ic} [MPa.m^{1/2}]$ |
|--------------------|------------------------|
| epoxid. pryskyřice | 0,5 |
| sklo | 0,8 |
| hliníkové slitiny | 20÷50 |
| uhlíková ocel | 100 |

c) Pevnost v tahu, tlaku, ohybu a smyku

Za pokojové teploty skla mají mez pevnosti nižší než mez pružné deformace (chovají se jako křehké materiály), tedy do svého porušení se deformují jen pružně a plastickou deformaci zanedbáváme. Plastickou deformaci můžeme pozorovat při vyšších teplotách, ale tato deformace se obtížně rozlišuje od viskózního toku. V oblasti pružné deformace platí Hookeův zákon ve tvaru rovnice (1). [10]

Teoretická pevnost skla je dána koherencí mezi jednotlivými sklotvornými atomy a kyslíkovými můstky. Ověřením presumpce o skle bylo zjištěno, že čím méně je v něm obsaženo oxidu sodného, tím větší je jeho pevnost. Orientačně lze pro pevnost skla učinit předpoklad, že k porušení vazby (nastane lom) dochází, pokud se atomy od sebe vzdálí více než o 1/5 vzdálenosti své původní vazby. Následně se atomy dostanou do oblasti přitažlivých sil svého bezprostředního okolí a dochází k přerušení původní vazby. Teoreticky lze dojít k závěru, že pevnost skla závisí na modulu pružnosti, povrchové energii a atomové vzdálenosti podle vztahu: [7]

$$f_{c,t} = \sqrt{\frac{4E\gamma}{d_a}} \quad (5)$$

kde: $f_{c,t}$ – maximální teoretická pevnost [N/mm^2],

γ - povrchová energie [$Pa \cdot mm$],

d_a - atomová vzdálenost [mm],

E – Youngův modul pružnosti [N/mm^2].

Mez pevnosti dle Griffitha je dána vztahem:

$$f_{c,G} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi \cdot c}} \quad (6)$$

kde: $f_{c,G}$ – mez pevnosti dle Griffitha [N/mm^2],

E – Youngův modul [N/mm^2],

γ – povrchová energie skla [$Pa \cdot mm$],

c – délka trhlinky [mm].

Ze vztahu (6) je patrné, že s rostoucí délkou trhlinek dochází k poklesu mechanické pevnosti. S tím jsou spojeny i ostatní účinky, podporující tvorbu trhlinek, např. trhlinky vzniklé při výrobě. [7]

Pevnost skla (křehkého materiálu) není závislá pouze na pevnosti vazeb, ale i na pevnosti nejtenčích míst, jimiž jsou myšlena mimo tvarová místa, místa s defekty materiálu, jako jsou mikrotrhlinky, povrchové trhlinky apod. (Obr. 2). Tyto defekty jsou v mikrostruktuře materiálu vždy přítomné, ale jsou důsledkem technologických procesů výroby, nejsou tedy vlastností materiálu. Je zapotřebí se snažit jejich výskyt co nejvíce minimalizovat, jelikož v jejich okolí je výrazná koncentrace napětí. Toho lze dosáhnout technologickou kázní nebo chemicko-tepelným zpracováním (CHTZ). [9]

Ke zvýšení pevnosti skla přispívá: [7]

1. vznik tlakového napětí v povrchové vrstvě,
2. korozivní účinek vody, při kterém u silově nenamáhaného skla nastává postupné zaoblování povrchových Griffithových trhlinek,
3. částečné snížení křehkosti v technologii skla např. částečnou krystalizací za vzniku skelně krystalických hmot,
4. vhodná ochranná vrstva na povrchu skla,
5. vytvoření kompozitu vrstvením (lepením skla – bezpečnostní skleněné desky).

d) Hustota a složení skla

Hustota je definována jako hmotnost měrného objemu látky při dané teplotě. Matematicky lze vyjádřit:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{těl.}}} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (7)$$

kde: ρ – hustota [kg.m³],

m – hmotnost [kg],

$V_{\text{těl.}}$ – objem tělesa [m³].

Hustota skla závisí na jeho chemickém složení, pohybuje se v rozmezí **(2200÷2600) kg.m⁻³** (viz Tabulka 3)

Tabulka 3 Chemické složení skla [11]

| Oxid | Boro 3.3 | Boro 5.1 | DURAN | Sodnodraselné sklo |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|----------|--------------------|
| | Borosilikátové sklo | | | |
| SiO ₂ | 80,3 % hm. | 68 % hm. | 81 % hm. | 70 % hm. |
| Na ₂ O + K ₂ O | 4,3 % hm. | 17 % hm. | 4 % hm. | 14 % hm. |
| Al ₂ O ₃ | 2,4 % hm. | 0,6 % hm. | 2 % hm. | 4 % hm. |
| B ₂ O ₃ | 13 % hm. | 0,1 % hm. | 13 % hm. | 1 % hm. |
| CaO + MgO | - | 6 % hm. | - | 7 % hm. |
| BaO | - | 4 % hm. | - | 3 % hm. |

Křemenné sklo má nejvyšší pevnost, je vyráběno z taveného křemene (oxid křemičitý SiO₂), má vysokou chemickou čistotu, nízkou tepelnou roztažnost a vysokou odolnost vůči teplotním šokům. Vyniká vysokou propustností v celém světelném spektru od UV po IR. [11]

Tabulka 4 Technické parametry křemenného skla [11; 12]

| | |
|---------------------------------|--|
| Hustota | 2500 kg/m ³ |
| Modul pružnosti | 70 000 N/mm ² |
| Pevnost v tahu | (10÷100) N/mm ² |
| Pevnost v tlaku | Více než 1000 N/m ² |
| Tvrдость | (5,3÷6,5) Mohs; 8800 N/mm ² |
| Propustnost světla | (160 – 3500) nm |
| Tepelná roztažnost (0 – 600) °C | 0,54.10 ⁻⁶ K ⁻¹ |
| Tepelná vodivost při 20 °C | 1,38 W |
| Teplota měknutí | 1585°C |

2.2. Plasty

Plasty jsou materiály, jejichž základní složku tvoří polymery. Při výrobě plastů jsou přidávána aditiva, která ovlivňují jejich výsledné vlastnosti. Nejčastěji to bývají plniva, koloranty, stabilizátory (např. UV stabilizátor, jelikož plasty po účinku UV záření zpravidla degradují) a změkčovadla.

Plasty se dělí do dvou základních skupin, na reaktoplasty a termoplasty. Dílčí dělení skupin je založeno na chemické struktuře. [13]

2.2.1. Reaktoplasty

Plasty, které mohou být převedeny do netavitelného a nerozpustitelného stavu působením tepla, zářením, popř. působením katalyzátoru. Pro tento pochod se v technické praxi používá pojem vytvrzování. Jde o vytváření kovalentních příčných vazeb mezi makromolekulami polymeru za vzniku struktury prostorové sítě. [13]

Do této skupiny plastů patří fenolické pryskyřice (PF), nenasycené polyestery (UP), epoxidy (EP), kaučuky (přírodní NR, syntetický IR). [13]

2.2.2. Termoplasty

Plasty, které jsou schopny se vzrůstající teplotou měknout a se snižující teplotou tuhnut v teplotním intervalu charakteristickém pro daný plast. [13]

Do této skupiny patří polyolefin, polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyhalogenolefiny (nejvýznamnější polyvinylchlorid-PVC), polystyrenové plasty (polystyren – PS), **polyakrylát**y a další. [13]

Polyakrylát

Polymer odvozený od kyseliny akrylové. Nejznámější z polyakrylátů je polymethylmetakrylát (**PMMA**). Vzniká polymerací metylmetakrylátu, esteru kyseliny metakrylové. Nejčastější formou bývají desky, které se označují jako tzv. organické sklo [13], akrylátové sklo nebo dle prodejních označení (Crylux, Plexiglas [plexisklo], Perclax, Perspex a další).

Obdobně jako u skel, i u akrylátových skel je zapotřebí pro vyhodnocení mechanických vlastností znát následující parametry:

- hustotu složení akrylátového skla,
- teplotu a vlhkost,
- pevnost v tahu, tlaku, ohybu a smyku, modul pružnosti,
- rázovou houževnatost.

a) Hustota a složení akrylátového skla

Hustota ρ akrylátových skel se pohybuje v rozmezí od (**1700÷2000**) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, jsou tedy průměrně o jednu čtvrtinu lehčí (dle rovnice (7)) než skla křemičitá. Proto se jejich uplatnění našlo v letectví, stavebnictví a v medicíně. [14]

Výsledkem studie bylo dokázáno, že kompozitem nanodiamant (ND)-akrylátové sklo (PMMA), lze dosáhnout zlepšení vlastností akrylátových skel. [15]

b) Teplota a vlhkost

Vlastnosti polymerů, obdobně jako u jiných materiálů, jsou závislé na teplotě. Oproti nízkomolekulárním látkám mají polymery navíc charakteristický přechodový stav mezi stavem sklovitým a kapalným, mají ještě stav kaučukovitý. [16]

Pro amorfní termoplasty jsou důležité přechodové teploty skelného a viskózního toku T_g a T_f . Nad teplotou skelného přechodu se termoplasty nacházejí v kaučukovitém stavu, což je ideální oblast pro zpracovatelnost termoplastů technologickými postupy (vstřikování, vytlačování apod.). [16]

Navlhavost je dlouhodobý proces, kdy látka přijímá vlhkost z okolí do doby, dokud její vlhkost neodpovídá relativní vlhkosti okolního prostředí. Příčinou je především chemická struktura materiálu. Snáze navlhají polymery, které mají v makromolekulovém řetězci přítomny silně elektronegativní prvky (kyslík-O, dusík-N, chlor-Cl). [16]

Důsledkem navlhání polymerů dochází k poklesu meze pevnosti a modulu houževnatosti, zhoršení elektrických izolačních vlastností, rozměrové nestálosti, degradaci svarů, ale dochází ke zvýšení houževnatosti a tažnosti. [16]

Polyakrylátové sklo Perspex (britského dodavatele „SimplyPlastics“) je charakteristické: teplotou skelného toku T_g 110 °C, dle ISO 306,

nasákavostí (navlhavostí) ve vodě 0,2 %, dle ISO 62, viz Příloha 1.

c) Pevnost v tahu, tlaku, ohybu a smyku, modul pružnosti

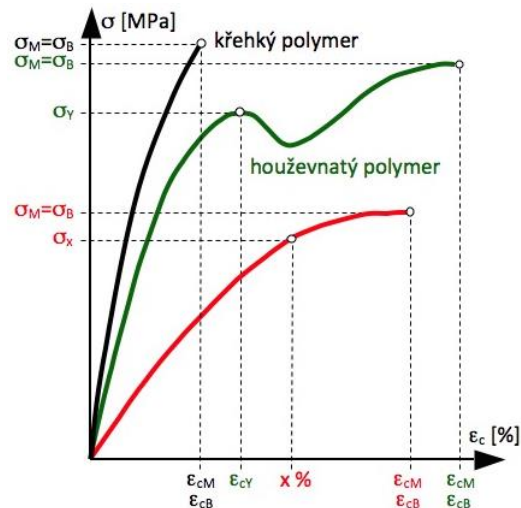
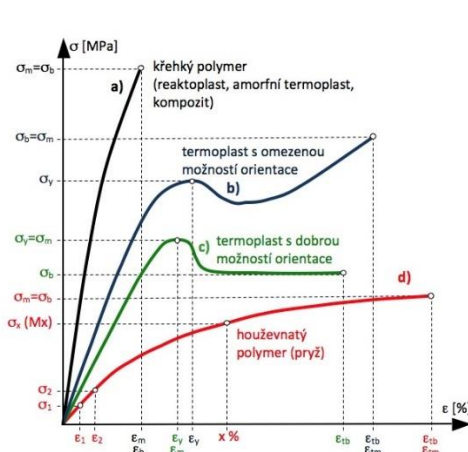
Deformace namáhaných polymerů vždy obsahují složku pružnou i plastickou, ale navíc i deformaci viskoelastickou (zpožděně elastickou). Při krátkodobém namáhání se polymery chovají jako tuhý a pevný materiál, ale při dlouhodobém zatěžování se deformace zvětšuje a stávají se poddajnými, dochází tedy u nich k tzv. tečení za studena neboli „creepu“. Je zřejmé, že celková deformace polymerů je časově závislá. Kromě „creepu“ důsledkem viskoelastického chování polymerů, je snaha materiálu se při deformaci navrátit do nezdeformovaného stavu, jedná se o tzv. elastické zotavení neboli zpětný „creep“. [16]

Mez pevnosti σ_m polymerů se běžně při pokojové teplotě pohybuje v rozmezí (15÷100) N/mm², u vyztužených plastů dosahuje až 170 N/mm². Semikrystalické polymery (PE, PP, PA a další) mají napětí na mezi kluzu σ_y shodné z mezí pevnosti σ_m (viz Obr. 4, křivka c).

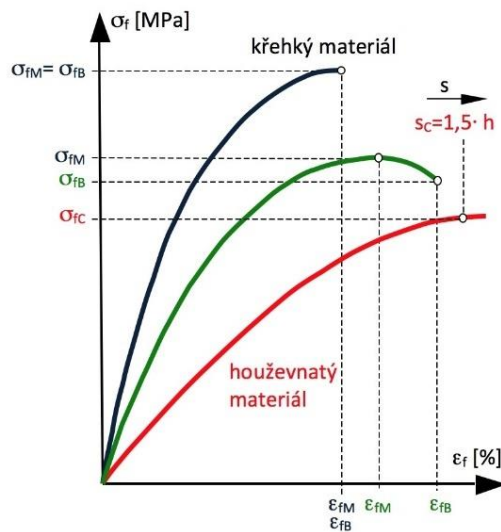
Určit modul pružnosti E u některých polymerů (např. elastomerů) je velmi obtížné, jelikož se od počátečního zatěžování chovají nelineárně. Proto se např. u pryží a termoplastických elastomerů vzorek zatíží smluvní hodnotou (např. 100 %, 300 %) a odečte se smluvní napětí, které se označuje jako modul protažení (gumárenský modul). [16]

Modul pružnosti E akrylátových skel Perspex je 3210 N/mm² (viz Příloha 1), je tedy přibližně 20x menší než u křemenných skel (70·10³ N/mm²). Dle studie uvedené v publikaci o kompozitu PMMA-ND je touto technologií dosaženo zvýšení modulu pružnosti o 85 %. [15]

Elastomery a pěnové polymery nejsou v ohybu dostatečně tuhé, proto se u nich ohybové testy nepoužívají nebo jen zřídka. [16] Polymery se jinak typicky testují pro zjištění ohybových vlastností tří nebo čtyřbodovou metodou. [17]



Obr. 4 Deformační křivky polymerů v tahu [15] Obr. 5 Deformační křivky polymerů v tlaku [15]



Obr. 6 Deformační křivky polymerů v ohybu [16]

d) Rázová houževnatost

Nejvyšší rázovou houževnatost mají elastomery, jelikož mají vynikající elastické charakteristiky a útlumové vlastnosti, proto se u nich hodnotí primárně odrazová pružnost. Polymery, které mají teplotu skelného přechodu vyšší než pokojovou teplotu, jsou při zkoušce rázové houževnatosti křehké. Pokud mají teplotu přechodu nižší, nedojde k jejich přeražení, proto se jejich houževnatost zkouší metodou vrubové houževnatosti. [16]

Rázová houževnatost polymerů nezávisí jen na složení a druhu, ale i na vlhkosti, zkušebních metodách, tvaru i rozměrech zkoušeného tělesa. Mezi typické dynamické zkoušky polymerů patří zkoušky rázové a vrubové houževnatost (Charpy), rázové a vrubové houževnatosti (Izod) a odrazové pružnosti (Schob a Lüpke). [16; 17]

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti akrylátového skla Perspex, viz Příloha 1

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Mez pevnosti | 75 N.mm ⁻² |
| Modul pružnosti | 3210 N.mm ⁻² |
| Mez pevnosti v ohybu | 116 N.mm ⁻² |
| Vrubová houževnatost dle Charpyho | 12 kJ.m ⁻² |
| Tvrdość dle Rockwella | 102 HRM (zkušební síla F= 980,7 N) |
| Teplota skelného toku | 110 °C |
| Tepelná roztažnost | 0,077 K ⁻¹ |

3. Technologie pro výrobu akvárií

Akvária se mohou vyrábět několika způsoby. Skleněná akvária se běžně lepí, mohou se ovšem i odlévat a v ojedinělých případech svařet. Speciálním způsobem spojování (experimentální) je anodické lepení pod tlakem. Tato metoda spočívá v nanesení vrstvy amorfního silikonu na lepený povrch, stlačením povrchů k sobě a následným spojením elektrickým proudem. Přebytek elektronů způsobí tvorbu spoje (elektrochemický spoj). [18] Akvária vyrobená z plastů menších rozměrů (i tvarově složitá) se vyrábí ve vstřikovacích lisech, větší akvária se lepí nebo svažují. [2]

Lepení

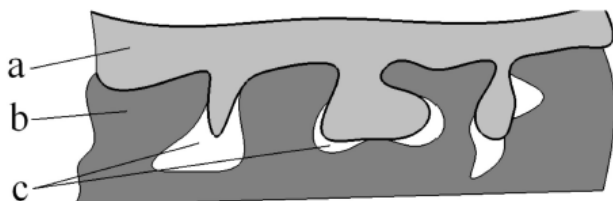
Lepení znamená vytvoření nerozebíratelného spoje dvou a více různých ploch prostřednictvím lepidla. K zajištění dokonalého přilnutí lepených ploch musí být vždy v okamžiku lepení lepidlo v tekutém stavu. Výsledná pevnost lepeného spoje závisí na následujících parametrech: [19]

- a) adhezi,
- b) kohezi,
- c) smáčivosti,
- d) soudržnosti.

a) Adheze

Jedná se o přilnavost lepidla k lepeným plochám. Je základním předpokladem úspěšného lepení. Pokud lepidlo pevně nepřilne k lepenému materiálu, spoj neudrží a rozlepi se na rozhraní lepidlo-lepený povrch. V takovém případě je koheze lepidla i pevnost materiálu vyšší než adheze. Na vznik adhezních sil existují dva teoretické modely vazeb mezi lepidlem a lepeným povrchem. Je jím mechanická a chemická (specifická) vazba.

- Mechanická adheze, vyskytuje se u porézních nebo členitých povrchů. Lepidlo zatéká do pórů a defektů (prohlubní, trhlin, kavit) povrchu, po vytvrzení se vytvoří pevný spoj mezi hmotou lepidla a lepeného materiálu (lze si to představit jako jistý druh tvarového spoje), tzv. patentkový efekt. Tento druh vazby je významný při lepení materiálů, jako jsou dřevo, keramika, papír. Leštěné hladké plochy mají mechanickou vazbu zanedbatelnou.



a – lepidlo, b – lepený materiál, c – lepidlem nevyplněné prostory

Obr. 7 Mechanická adheze, tzv. patentkový efekt [20]

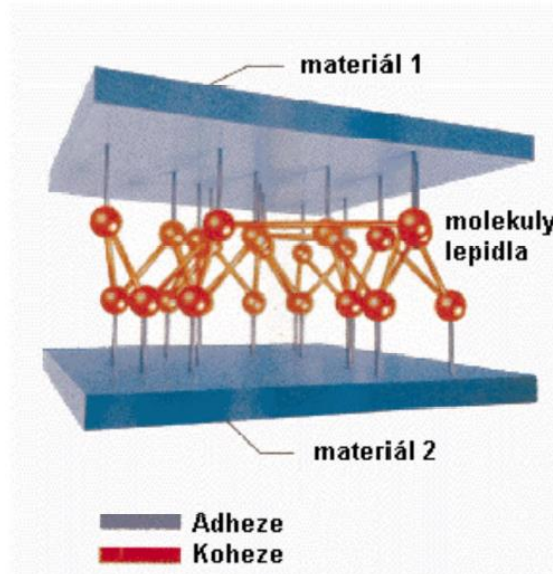
- Chemická (specifická) adheze se vyskytuje u porézních i zcela hladkých povrchů. Teorie chemických vazeb je založena na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Pro proběhnutí chemické reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentních vazeb je zapotřebí povrch materiálu chemicky upravit, nebo zajistit, aby byl povrch materiálu reaktivní. Dobře se lepí oxidované povrchy, přírodní polymery. Vhodné lepidlo musí obsahovat volné skupiny (jako jsou epoxy-, dyoxy-, karboxy-, isokyanáto-, a další) schopné reakce s povrchem materiálu. [19; 20]

Další druhy adhezí

- **Difuzní adheze**
Forma mechanické adheze pro polymery. Řetězce (popř. segmenty řetězců) polymerního adheziva pronikají do polymerního materiálu. Vzniká především u lepení polymerních materiálů rozpouštědlem nebo roztokovými lepidly.
- **Adsorpční adheze**
Založena na působení Van der Waalsových přitažlivých sil mezi molekulami lepidla a lepeného materiálu. Tyto síly jsou považovány za postačující k dosažení pevnosti spoje. [19; 20]

b) Koheze

Představuje pevnost vrstvy lepidla. Pokud dojde k lomu spoje ve vrstvě lepidla, znamená to, že koheze spoje je nižší než adheze a pevnost materiálu. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla a na tepelném namáhání lepeného spoje. [19; 20]



Obr. 8 Adheze a koheze v lepeném spoji [21]

c) Smáčivost

Schopnost lepidla rovnoměrného rozprostření po lepeném povrchu. Pokud není lepidlo schopno se rozprostřít, nedojde ke vzniku adhezní vazby. Souvisí s polaritou lepeného povrchu a s povrchovým napětím jak lepidla, tak i lepeného povrchu. Jelikož lepidla obsahují hodně reakce schopných skupin, jsou molekuly lepidla polární a díky této vlastnosti dobře smáčivé. Mezi polární povrchy patří deriváty celulózy, mírně oxidované kovy, sklo a další. [19; 20]

Polarita povrchu je příčinou vzniku povrchového napětí. Pokud je povrchové napětí kapaliny nižší než lepeného povrchu, dojde k rozlití (smočení) kapaliny po povrchu. Pokud je tomu naopak, kapka kapaliny se drží na povrchu jako kulička. Pro lepení nepolárních plastů je zapotřebí dosáhnout polárnějšího povrchu. Toho se dosáhne povrchovou oxidací plamenem nebo oxidačním činidlem (kyselinou), nejčastěji se používá tzv. koronizace elektrickým jiskrovým výbojem. [19; 20]

d) Soudržnost (pevnost)

Výrobci lepidel navrhují lepidla pro lepení nesoudržných materiálů, protože téměř každé lepidlo má větší kohezi než lepený materiál, a tedy při porušení spoje, defekt vzniká v okolí lepeného spoje (porušení materiálu v okolí, nikoliv ve spoji). [19; 20]

3.1. Lepidlo

3.2. Složení a tvar makromolekuly

Lepidla jsou tvořena, přírodními nebo syntetickými, filmotvornými makromolekulárními látkami. Filmotvorné látky mají dvě struktury makromolekul, lineární nebo trojrozměrnou. Lineární struktura makromolekul je termoplastická a rozpustná v organických rozpouštědlech. [22]

3.3. Polymerační stupeň

Je dán délkou molekul filmotvorného polymeru. Délky molekul mají vliv na viskozitu, kohezi i adhezi. Viskozita a koheze rostou spolu s přibývajícím délkou makromolekul, ale adheze zpravidla klesá. Aby lepidla měla vysokou adhezi i kohezi, musí obsahovat vysokomolekulární i nízkomolekulární látky. [22]

3.4. Viskozita

Popisuje velikost vnitřního tření v kapalinách (lepidlech) a ovlivňuje její tokové vlastnosti. Viskozita je ovlivněna obsahem a polymeračním stupněm filmotvorné látky, kvalitou plniva, poměrem rozpouštědla k ředidlu a teplotou. Pokud jsou lepidla hodně viskózní (hustá), může dojít k nedokonalému smáčení mikropovrchu lepených povrchů (adherendu). Viskozita u některých reaktivních lepidel stárnutím samovolně stoupá. Tento děj je závislý na teplotě prostředí, čím je vyšší teplota, tím rychleji stárnou. Proto je vhodné tato lepidla uchovávat při teplotě od +5 °C do +15 °C. Viskozita se dále zvyšuje i odpařováním rozpouštědel, a proto je vhodné lepidla uchovávat v suchu a v původních obalech. [22]

3.5. Alkalita a kyselost lepidla

U mnohých lepidel je nutné při výrobě (nebo pro správnou funkci) přidávat aditiva, která ovlivňují kyselost nebo zásaditost. Proto je nutné sledovat vzájemné ovlivňování lepidel a lepených povrchů. Ke snížení pevnosti spoje dochází stárnutím filmu, ze kterého se uvolňují těkavé látky. Například chloroprenová lepidla uvolňují stárnutím chlorovodík, polyvinylacetát kyselinu octovou. Důsledky těkavých kyselin na lepené spoje musí být eliminovány nebo minimalizovány. Toho lze dosáhnout vhodnými plnivými nebo i klimatizací. [22]

3.6. Homogenita

Homogenita spoje, popř. lepidla je základním předpokladem spolehlivého spojení. Homogenitu lepidel je velmi důležité sledovat u dvojsložkových lepidel a lepidel s nerozpustitelnými přísadami, které se musí před aplikací důkladně promíchat. U neplněných roztoků a disperzí bývá homogenita ovlivněna degradací, která je způsobena nevhodnými skladovacími podmínkami nebo expirací. Tento fakt platí samozřejmě i u dvojsložkových lepidel. [22]

3.7. Objemová stálost filmu

Při vytvrzování lepidel je zapotřebí brát v potaz objemové změny při změně skupenství z tekutého na tuhé. Změna objemu je dána obsahem aktivních látek a plniv v lepidle. Čím více je těchto látek v lepidle obsaženo, tím jsou menší objemové změny. Aktivními látkami se rozumí (mimo polymery) reakce schopné látky, jako jsou reaktivní rozpouštědla a sloučeniny, které podporují zesílení struktury lepidla (např. izokyanáty). Pro objemovou stálost filmu lepidla jsou vhodnější nebobtnavá plniva minerálního původu. Tavná a bezrozpouštědlová reaktivní lepidla se nejméně smršťují. Nejvíce se smršťují lepidla rozpouštědlová a disperzní. Mnohé filmotvorné polymery zadržují rozpouštědla dlouho,

a v důsledku toho se objemová stálost dostaví až za 2 až 3 týdny. Pro tlustší film jsou vhodná lepidla objemově stálejší. [22]

3.8. Struktura a složení plniva

Pro konečnou úpravu mechanických, chemických, elektrických i tepelných vlastností je důležitá volba vhodného složení a struktury plniv. Plniva se používají jak organická, tak anorganická. [22]

Organická plniva (např. technická žitná mouka, škrob) vynikají svou měkkostí, a tedy při obrábění spoje netupí významně nástroje. Jsou to plniva s oblými částicemi, které dobře rozvádějí vnitřní pnutí. Značnou nevýhodou těchto plniv je snižování objemové stálosti a vodovzdornosti filmu lepidla. [22]

Anorganická plniva lze dělit na tři skupiny, a to plniva s destičkovitou strukturou, vláknitou strukturou a ostrohranná plniva. Plniva s destičkovou strukturou (např. kaolin, slída) se nehodí do lepidel s nízkou sušinou, zhoršují mechanické vlastnosti spoje, ale zvyšují konzistenci směsi. Plniva s vláknitou strukturou (např. azbest) hodně zvyšují viskozitu směsi, která se následně špatně nanáší. Ostrohranná plniva (např. bauxit, kovy, vápenec, mletý porcelán) umožňují vysoký stupeň naplnění lepidla a zvyšují jeho elektrickou nebo tepelnou vodivost. Pro obrábění spoje a minimalizaci otupení obráběcího nástroje se hodí jen plniva s nízkou tvrdostí, jako je mastek, nebo sádrovec. Alkalická plniva (např. vápenec) nelze používat do lepidel s kyselými tvrdidly. [22]

3.9. Rozdělení lepidel dle použití

Lepidla lze rozdělovat dle mnoha faktorů, mezi ně patří např. prostředí, ve kterém se spoj nachází, namáhání spoje (tepelně, elektricky, mechanicky), dopad na organismus. Nejzásadnějším faktorem je materiál adherendu. Všechny ostatní faktory nelze vždy splnit a je zapotřebí zvolit kompromis a vhodnou alternativu. [22]

3.10. Lepidla pro lepení kovů

Aplikace lepidel ve strojírenství se stále více rozšiřuje. Mimo lepení kompozitů kov-sklo apod. se jejich využití rozšiřuje i do spojení stejnorodých materiálů. Pro lepení kovů se používají reaktivní lepidla. [23]

Do první skupiny vhodných lepidel pro kovy jsou kyanoakryláty. Vyznačují se krátkou dobou vytvrzení. Adherendy je zapotřebí ihned po aplikaci lepidla řádně zafixovat, aby se zaručil správný vznik řetězců polymerů, který by pohybem ploch mohl být narušen. Šířka spáry kyanoakrylátových lepidel se pohybuje v rozmezí (0,1÷0,2) mm. Teplotní odolnost spoje bývá v rozmezí (80÷100) °C. [23]

Další skupinou jsou epoxidy. Mohou být jednosložkové nebo vícesložkové. Využívají se pro vyplnění nerovností lepených ploch po obrábění a pro rozměrově větší plochy. Vytvrzování epoxidů je cca (1÷5) hodin. Tloušťka filmu u plněných (např. kovem) systémů je (0,2÷0,3) mm, u neplněných 0,1 mm. Pro dosažení minimální tloušťky spáry se používají distanční drátky. U ocelí a slitin hliníku epoxidový spoj dosahuje pevnosti přes 20 N/mm². Pevnost spoje u mědi a jejích slitin je menší. U kovů se zároveň nanášeným zinkem lze maximální pevnost uvažovat pouze 4 N/mm². Teplotní odolnost spoje je (-50÷150) °C u plněných epoxidů, u neplněných epoxidů dochází k poklesu pevnosti již při 60 °C. [23]

Pro spoje, které vyžadují odolnost vůči vodě, zředěným kyselinám, rozpouštědlům a dynamickému namáhání, se používají dvousložková lepidla polyuretanová. Jsou zpracovatelná za nízkých teplot a poskytují pružnost a pevnost spoje. Tato lepidla nejsou tolik citlivá na dodržení směšovacího poměru jako lepidla vícesložková epoxidová. Pevnost spoje dosahuje maximálně 15 N/mm² a teplotní odolnost je do 100 °C. [23]

Anaerobně vytvrzená lepidla jsou primárně určena k lepení kovů. Pro spojení kovu s nekovovým materiálem je zapotřebí použít aktivátor, který je na nekovovém materiálu zdrojem kovových iontů. Při použití anaerobních lepidel je důležité zamezit přístupu vzduchu do spoje, toho se docíluje šířkou spoje ($2,5 \div 3$) mm. Tato lepidla se používají k zajištění šroubových spojení, upevňování ložisek a těsnění. U těchto lepidel není kladen požadavek na odmaštění lepených povrchů. Tento druh lepidel se dělí do několika viskozitních tříd a dle toho je kladen požadavek na tloušťku spáry od ($0,08 \div 0,5$) mm. Pevnost spoje dosahuje maximálně 40 N/mm^2 . [23]

3.11. Lepidla pro lepení plastů

Existuje řada různých lepidel pro lepení plastů, proto je vždy důležité zvolit lepidlo pro daný plast. Základně se dělí na lepidla pro termoplasty a reaktoplasty. Poté se musí zvolit vhodnost podle druhu materiálu, některé lepidla mohou mít s plasty nežádoucí účinky jako je naleptání nebo narušení čirosti plastu (zešednutí apod.). [23]

3.12. Lepení reaktoplastů

Pro lepení fenolplastů a aminoplastů jsou vhodná kyanoakrylátová lepidla. Pro lepení větších ploch se využívají epoxidová lepidla. Pro fenolplasty jsou vhodná polyuretanová lepidla. [23]

3.13. Lepení termoplastů

Mezi nejznámější představitele této skupiny patří polyetylen (PE) a polypropylen (PP), ovšem tyto představitele mají obtížnou lepivost, proto se nejčastěji svařují. Při lepení je důležité mít povrch těchto materiálů dokonale čistý a odmaštěný. Používají se pro ně kaučuková kontaktní lepidla, epoxidová a dvousložková polyuretanová lepidla. Při použití kyanoakrylátových lepidel je zapotřebí aplikovat aktivátor, který se odpaří. [23]

Polystyreny (PS) jsou rozpustné v toluenu, acetonu a dalších rozpouštědlech a lze je lepit naleptáním. Po naleptání plastů se musí plochy k sobě zafixovat a vytvrzení je dosaženo po 24 hodinách. Pro lepení menších dílů se používá rozpouštědlových lepidel, u kterých je zapotřebí zajistit předepsanou tloušťku spáry výrobcem. K lepení větších ploch se používají reaktivní lepidla. [23]

Pro lepení ABS se používají obdobná lepidla, jako se používají pro polystyreny. K lepení ABS s jinými materiály, se využívají kyanoakrylátová lepidla. [23]

Polyvinylchlorid (PVC) se lepí rozpouštědlovými lepidly. Pro lepení polyvinylchloridu s jiným materiálem se používají lepidla kyanoakrylátová. Polyvinylchlorid se vyrábí i v pěnové formě, tento druh PVC se lepí dvousložkovými epoxidovými lepidly. [23]

Akrylátové sklo (PMMA) a polykarbonát (PC) se spojují obdobnými způsoby. Buď to se spojují naleptáním, nebo roztokovými eventuálně jednosložkovými kyanoakrylátovými lepidly. Rozměrnější díly z polykarbonátu se lepí polyuretanovými lepidly. [23]

Polyamid se lepí kyanoakrylátovými lepidly. Jelikož se z polyamidu vyrábí i kluzná ložiska, pro lepení polyamidu s kovem jsou vhodná lepidla epoxidová. [23]

3.14. Lepidla pro lepení skla

Pro lepení skel s jinými materiály nebo navzájem se používají dvousložková epoxidová lepidla. Nevýhodou těchto lepidel je jejich netransparentnost, spoj bývá po vytvrzení slabě žlutý, šedý nebo hnědý, ale dělají se i lepidla transparentní. Pro nejlepší výsledky aplikace je výrobcem doporučeno předehřát sklo na teplotu ($60 \div 100$) °C,

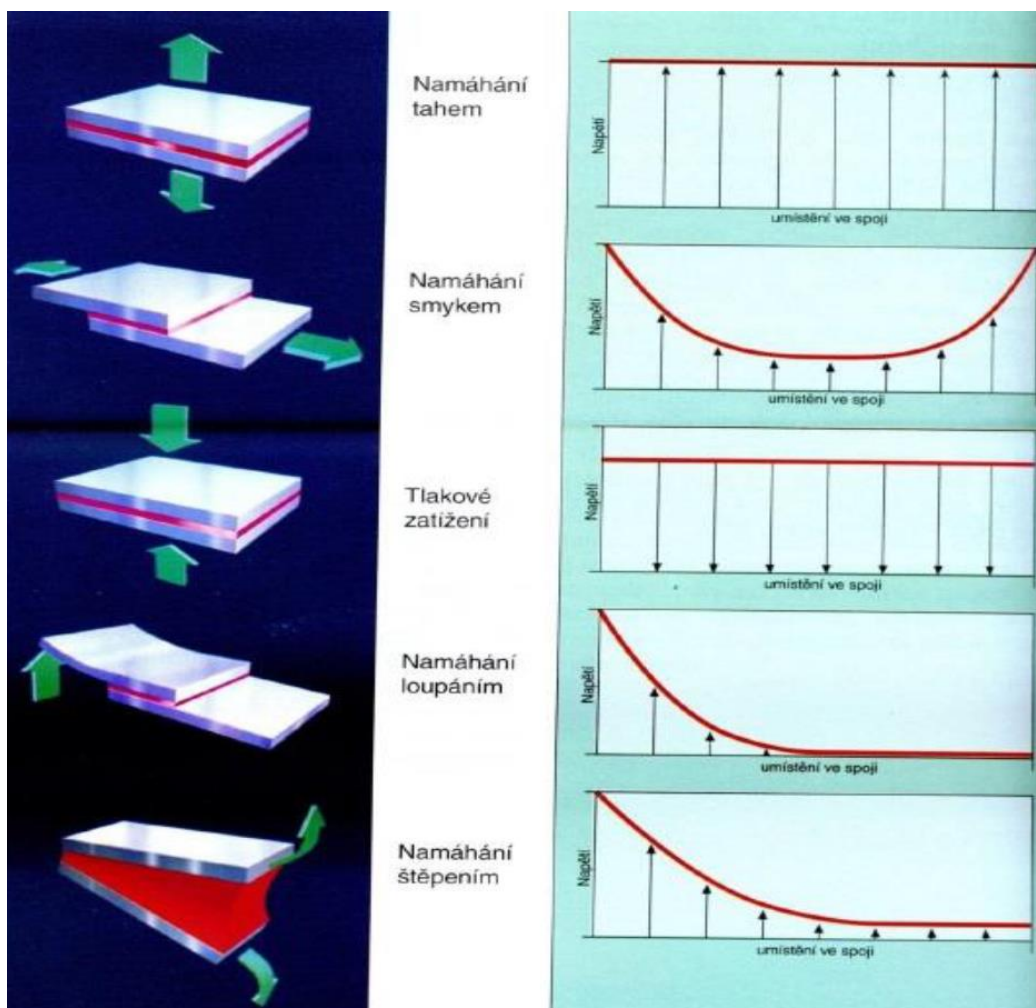
pro odpaření zbytkové zkondenzované vody, která brání smočení adherendu s lepidlem. [23], viz Příloha 2

Dále se používají lepidla silikonová. Oproti epoxidovým lepidlům tato lepidla vyžadují pro vytvrzení zkondenzovanou vlhkost. Po vytvrzení zůstávají trvale elastická, díky čemuž kompenzují pnutí a tepelnou roztažnost skla. Jelikož silikony reagují i se vzdušnou vlhkostí, začínají vulkanizovat během cca. 5 minut, je tedy zapotřebí spojení dokončit co nejdříve. [23], viz Příloha 3

Posledním běžně užívaným druhem lepidel jsou lepidla polyuretanová. Mají dobrou adhezi ke sklu i jiným materiálům. Hodnoty elasticity mají mezi epoxidovými a silikonovými lepidly. [23]

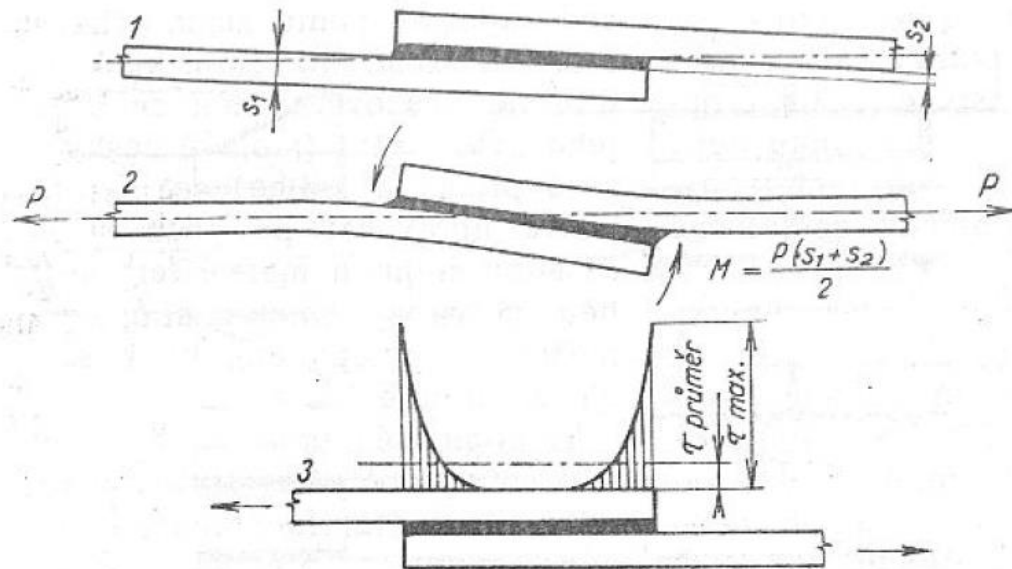
3.15. Mechanické namáhání lepených spojů

Lepené spoje bývají zpravidla mechanicky namáhány tahem, tlakem, smykem, odlupováním, rázem, deformací materiálu vlivem teploty. (Obr. 9, Obr. 10) Příznivější namáhání pro lepené spoje, je tahem, tlakem a smykem. Nepříznivé je odlupování a kroucení lepeného spoje. Tato namáhání se koncentrují jen do určitých míst lepeného spoje, ve kterých poté dochází k lokálnímu přetížení a poškození filmu. Pro možnost vzniku lepeného spoje, aby dostatečně odolával mechanickému namáhání, je zapotřebí navrhnout dostatečně velké spojované plochy. [23]

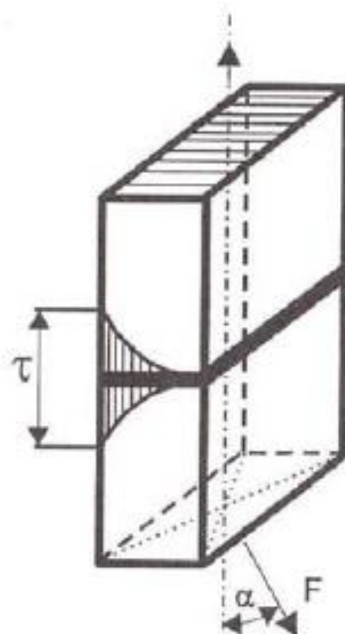


Obr. 9 Zatěžování a průběh napětí lepených spojů [24]

Při kombinovaném namáhání lepeného spoje tahem a ohybem se koncentruje tahové napětí výrazněji na jedné straně spoje (Obr. 11), to má za důsledek nežádoucí namáhání odlupováním. U jednostranně překlátovaných spojů je koncentrace napětí na obou koncích překlátování, toto napětí má také za následek namáhání odlupováním. S rostoucím zatížením se zvyšuje napětí v lepeném spoji až do kritické hodnoty. Poté se spoj od konců překlátování začne porušovat směrem do středu. [22]



Obr. 10 Deformace jednostranně překlátovaných spojů v důsledku excentrického působení sil [22]



Obr. 11 Koncentrace napětí při namáhání kombinací tahu a ohybu [23]

4. Pevnostně deformační analýza akvária

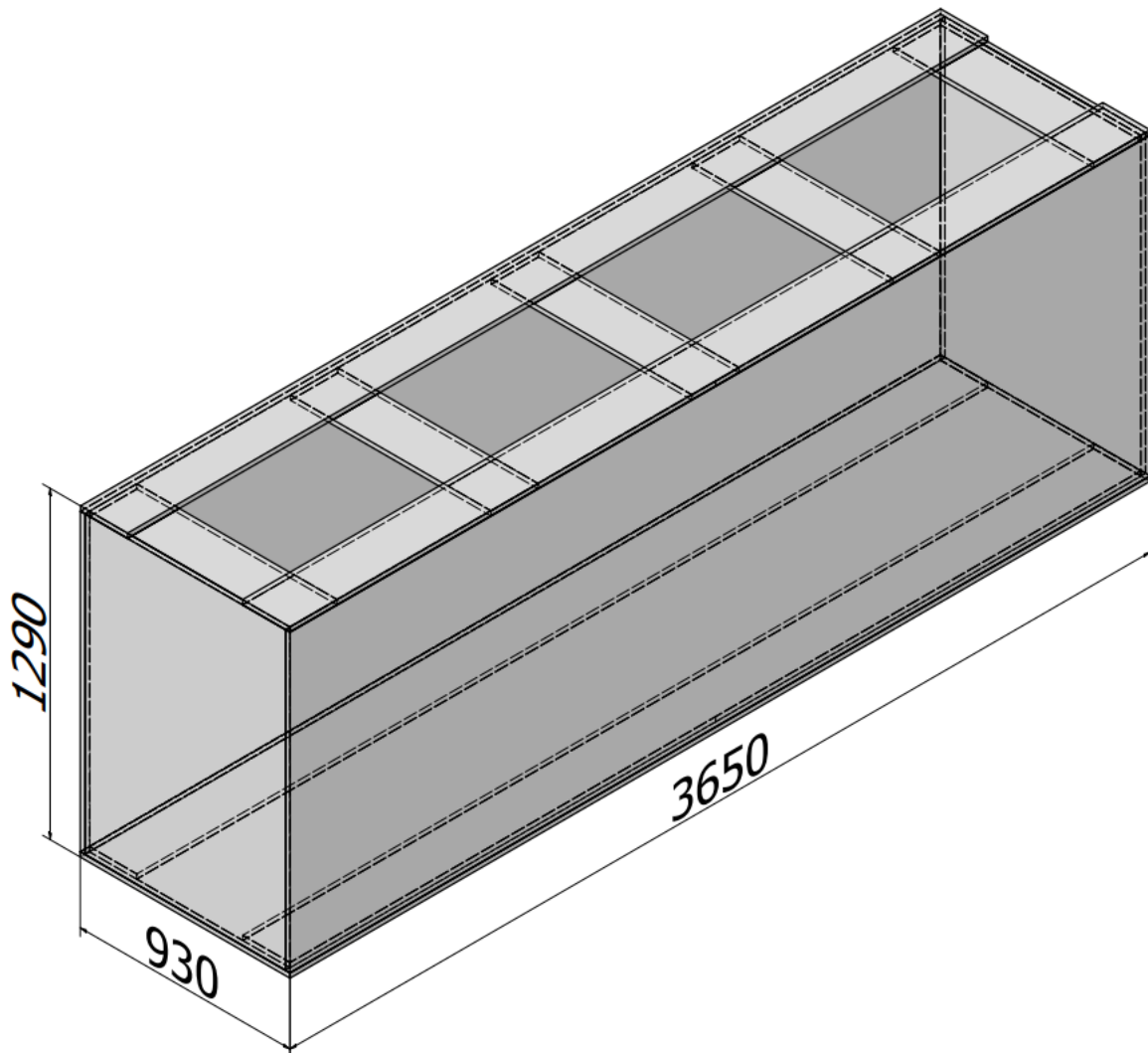
4.1. Definice úlohy

Tato část Bakalářské práce se zabývá pevnostní a deformační analýzou lepených spojů a desek skleněných akvárií velkých objemů dle zadaných rozměrů od vedoucího práce Ing. Jana Kanavala, Ph.D. v softwaru „Abaqus“ od firmy „DS Simulia“.

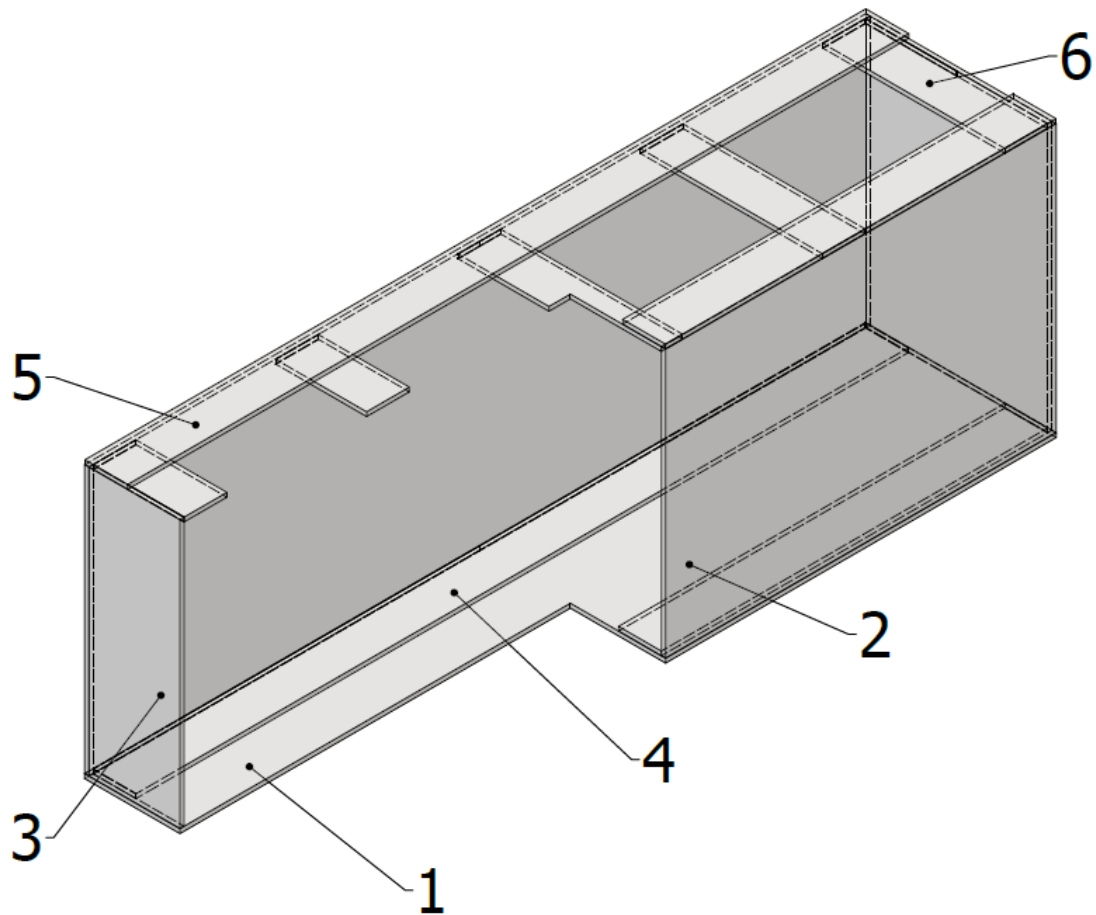
Akvárium má dáno rozměry: (3650x930x1290) mm (DxHxV), při analýze se uvažuje s předpokladem, že akvárium je naplněno až po horní okraj vodou z vodovodního řádu. Teplota vytápěného okolí a vyhřívaného akvária je 25 °C. Dále akvárium bude umístěno na betonové podestě a odizolováno vhodnou vrstvou polystyrenu.

Jelikož je úloha dvakrát osově symetrická, z teorie pružnosti plyne, že stačí analyzovat pouze jednu čtvrtinu akvária. Konstrukce akvária, vzhledem k jeho rozměrům, byla předběžně rozšířena o výztuhy stěn pro zvýšení pevnosti a navýšení ploch pro adhezivo. Zároveň jsou vrchní výztuhy rozmístěny s dostatečným prostorem pro údržbu akvária. Srovnání konstrukce bez výztuh a s výztuhami je uvedeno v kapitole 4.10 Souhrn výsledků.

Obrázky Obr. 12, Obr. 13 a Obr. 14 jsou ilustrační, výkres akvária viz Příloha 9



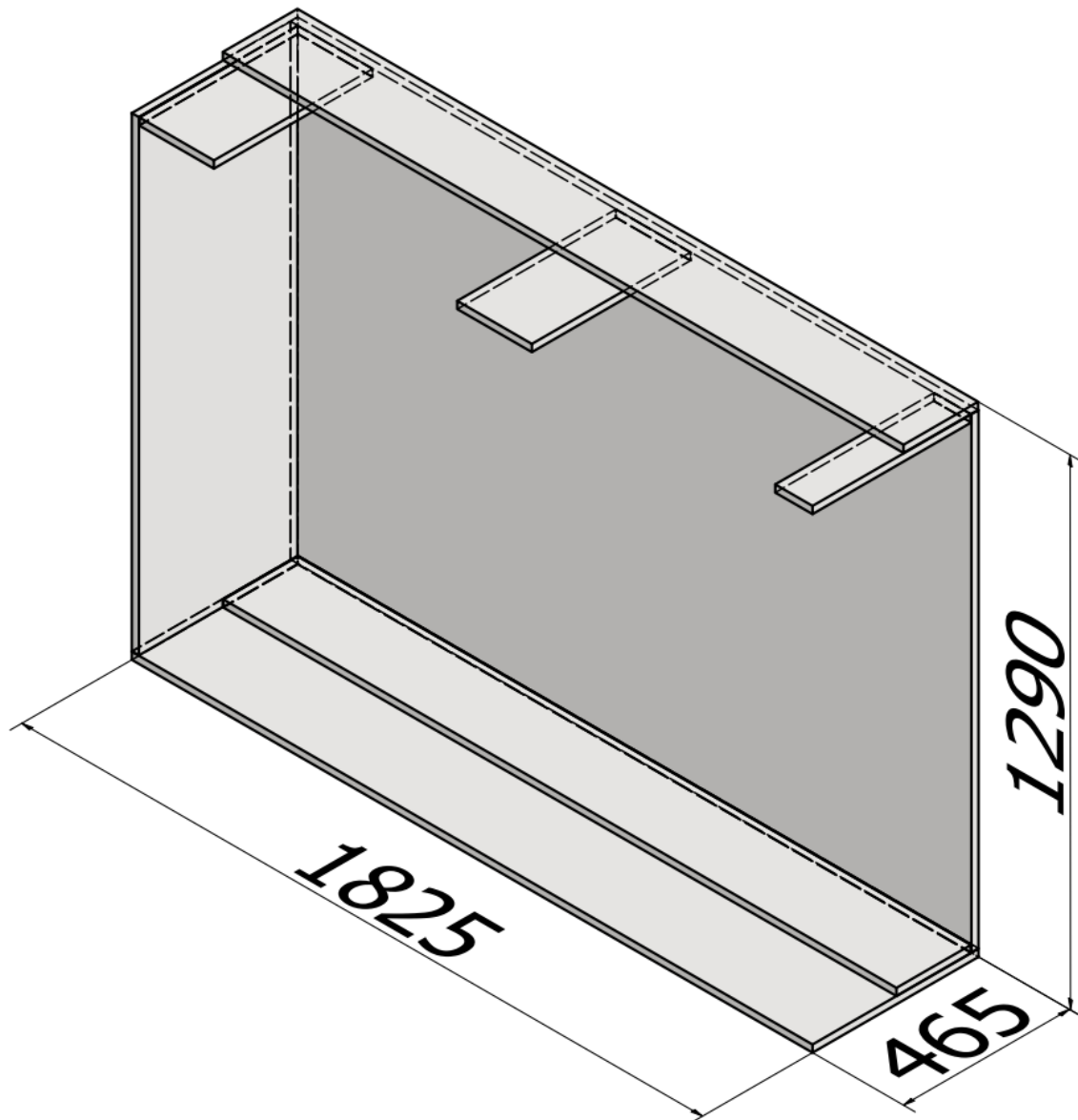
Obr. 12 Rozměry akvária [Autor]



Obr. 13 Pozice adherendu [Autor]

Tabulka 6 Kusovník sestavy akvária [Autor]

| POZ | NÁZEV | ROZMĚR | MATERIÁL | HMOTNOST | KS |
|-----|-----------------------|-------------|-----------------------|--------------------|----|
| 1 | DNO | 3650 x 930 | SKLO TL.19 mm | 161,2 kg | 1 |
| 2 | STĚNA DLOUHÁ | 3650 x 1250 | SKLO TL.19 mm | 216,7 kg | 2 |
| 3 | STĚNA KRÁTKÁ | 1250 x 890 | SKLO TL.19 mm | 52,8 kg | 2 |
| 4 | VÝZTUHA DNA | 3610 x 200 | SKLO TL.19 mm | 34,3 kg | 2 |
| 5 | VÝZTUHA HORNÍ | 3650 x 200 | SKLO TL.19 mm | 34,7 kg | 2 |
| 6 | PŘÍČKA HORNÍ | 890 x 200 | SKLO TL.19 mm | 8,5 kg | 5 |
| 7 | LEPIDLO DEN BRAVEN | | SILIKONOVÉ LEPIDLO | 3,1 kg | 14 |
| | | | | Celkem 883,8 kg | |



Obr. 14 1/4 akvária pro analýzu [Autor]

4.2. Materiál

Akvárium bylo navrženo ze skleněných desek o tloušťce 19 mm. Před aplikací adhezní vrstvy byl adhezend očištěn a odmaštěn pro správné přilnutí adheziva.

Tabulka 7 Vlastnosti použitého skla [11; 12]

| Tepelně tvrzené sklo | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Hustota | $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ |
| Modul pružnosti v tahu | $E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$ |
| Poissonovo číslo | $\mu = 0,22$ |
| Pevnost v tlaku | $\sigma_{pd} = 750 \text{ N/mm}^2$ |
| Pevnost v tahu | $\sigma_{pt} = 7 \text{ N/mm}^2$ |
| Návrhová pevnost | $f_{g,d} = 69,75 \text{ N/mm}^2$ |

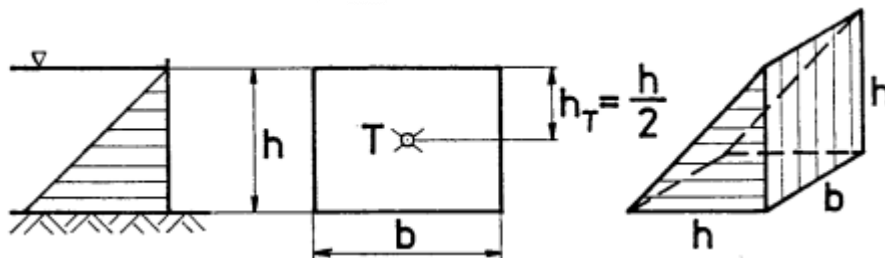
Jako adhezivo bylo použito silikonové lepidlo „DEN BRAVEN TL 04.54 akvaristické lepidlo“ o tloušťce vrstvy 1 mm (po vytvrzení). Úplné vytvrzení nastane po 168 hodinách, při 23 °C a 55% relativní vlhkosti vzduchu.

Tabulka 8 Vlastnosti použitého adheziva, viz Příloha 3

| DEN BRAVEN TL 04.54 akvaristické lepidlo | |
|---|----------------------------------|
| Hustota | $\rho = 1040 \text{ kg/m}^3$ |
| Modul pružnosti v tahu | $E = 0,5 \text{ N/mm}^2$ |
| Poissonovo číslo | $\mu = 0,4$ |
| Pevnost v tahu | $\sigma_{pt} = 2 \text{ N/mm}^2$ |

4.3. Zatížení

Akvárium bylo zatíženo hydrostatickým tlakem a vlastní tíhou. Software „Abaqus“ obsahuje funkci pro zatížení hydrostatickým tlakem, kde se zadávají nulová a maximální výška hladiny, viz Obr. 15.



Obr. 15 Hydrostatický tlak na stěnu akvária [25]

$$p = \rho gh \quad (8)$$

p – hydrostatický tlak [Pa]

ρ – hustota vody [kg/m^3]

g – tíhové zrychlení [m.s^{-2}]

h – výška hladiny [m]

Maximální zatížení způsobené kapalinou:

$$p = \rho gh = 997 * 9,81 * 1,25 = 12,2257 * 10^{-3} \text{ MPa} \quad (9)$$

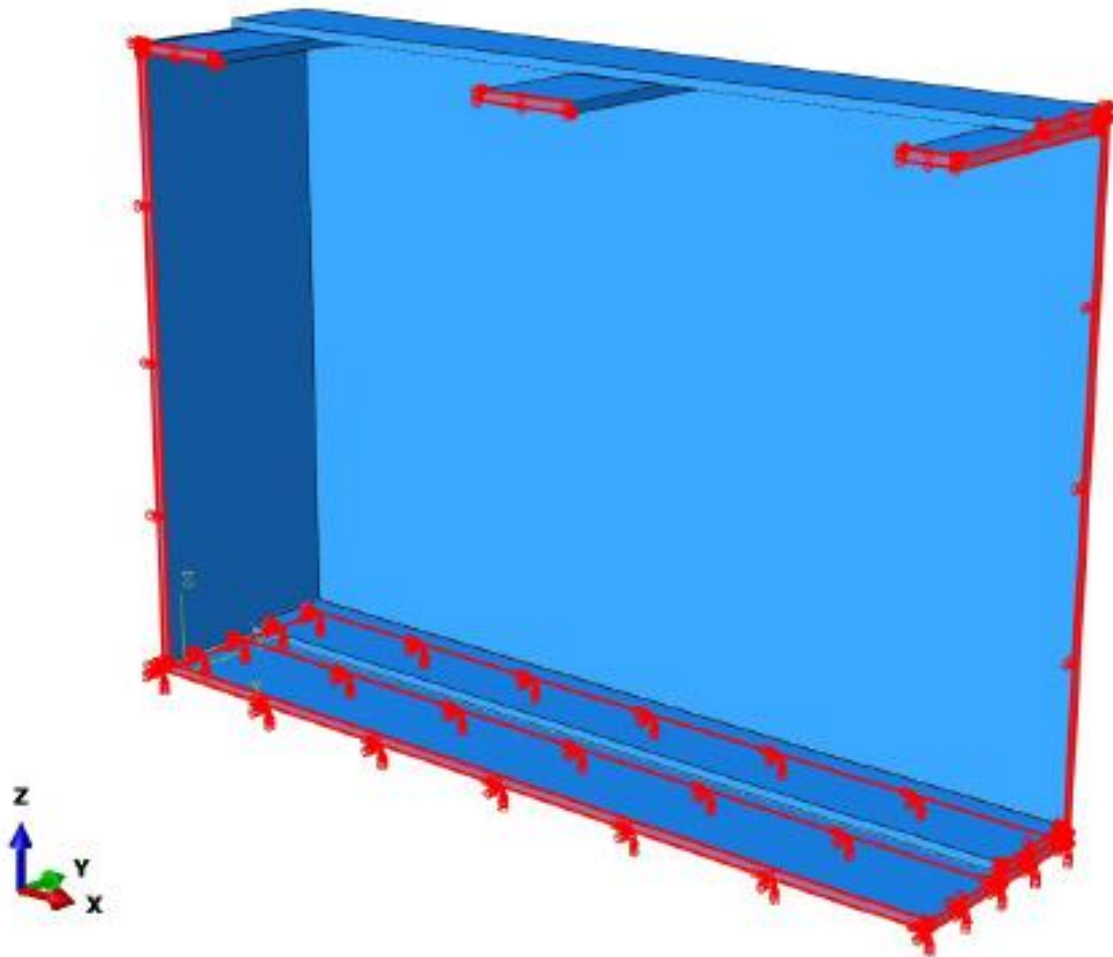
Jednotlivé desky byly nejdříve navrhovány prostřednictvím softwaru „MITCalc“, ve kterém byla zkontrolována požadovaná tloušťka skla viz Přílohy (4÷6). Po volbě tloušťky stěny skla 19 mm bylo akvárium vymodelováno v softwaru „Inventor“, firmy „Autodesk“ a model byl importován do programu „Abaqus“. Byla tedy importována jedna čtvrtina celého akvária, která se skládala ze šesti desek a lepidla.

4.4. Nastavení simulace

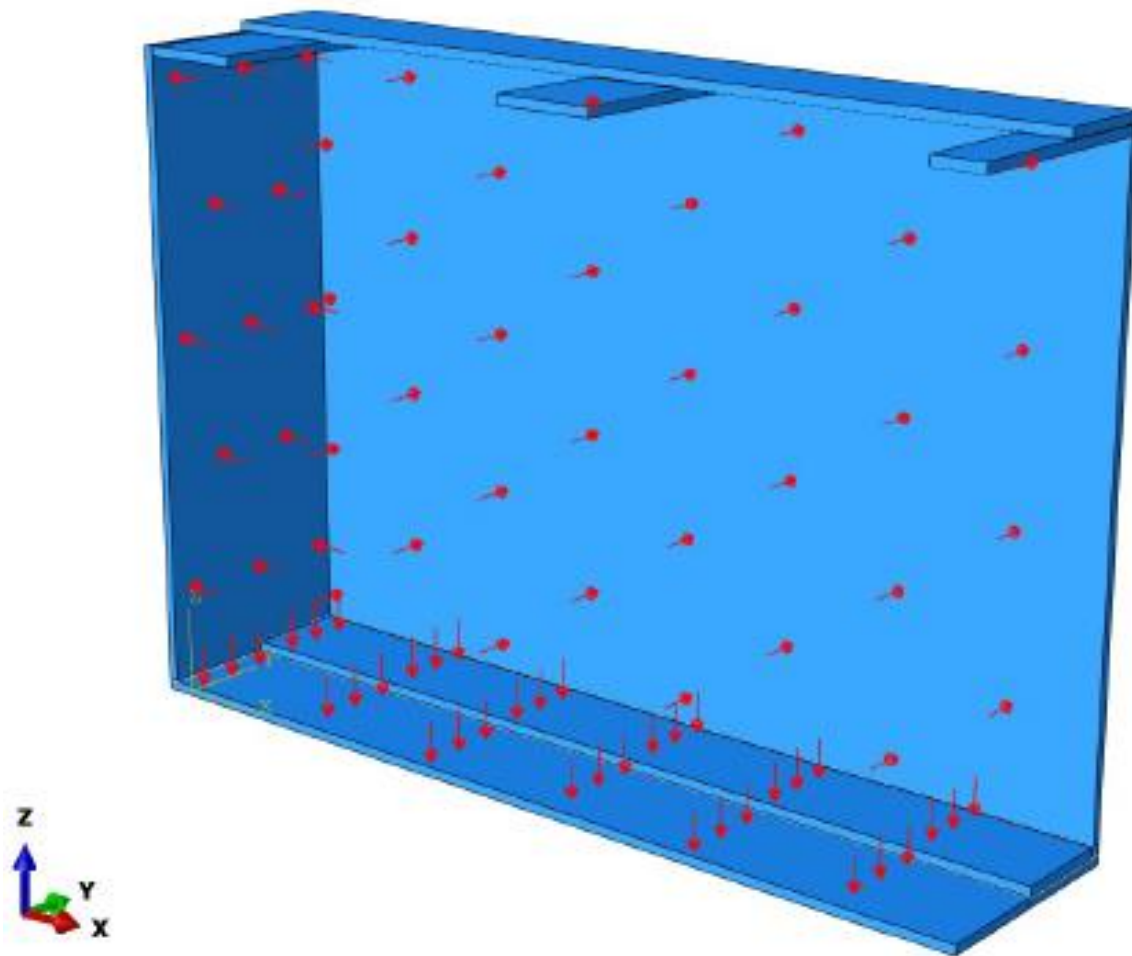
V programu „Abaqus“ byly definovány materiálové vlastnosti skla (Tabulka 7) a silikonového lepidla (Tabulka 8). Dále byly vytvořeny sekce pro dané materiálové vlastnosti a byly přiřazeny k daným součástem.

V místech symetrie byla použita okrajová podmínka pro zamezení posuvů (Obr. 16). Zatížení bylo definováno jako hydrostatický tlak na stěny s proměnnou výškou, od 19 mm do 1250 mm (Obr. 18). Dno akvária bylo zatíženo hodnotou maximálního hydrostatického tlaku (Obr. 19) vypočteného z rovnice (9).

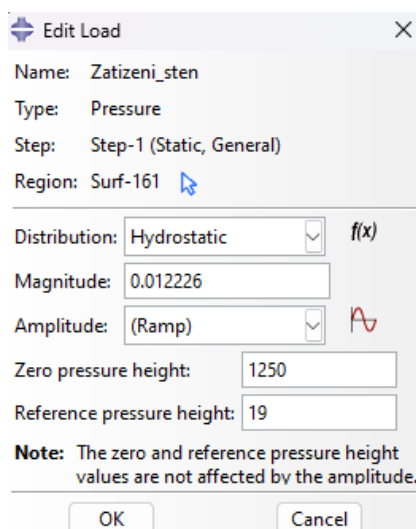
Velikost elementů při síťování desek byla zvolena 15 mm pro vhodné rozložení hranic mezi jednotlivými prvky sestavy. Pro lepidlo byla velikost zvolena 10 mm. Druh elementu pro sklo byl zvolen „continuum shell“, jelikož skleněná deska je definována jako skořepina („shell“).



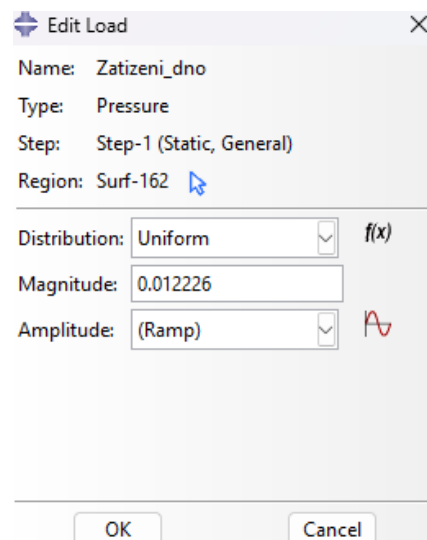
Obr. 16 Definice okrajových podmínek [Autor]



Obr. 17 Definice zatížení [Autor]



Obr. 18 Nastavení hydrostatického zatížení na stěny [Autor]



Obr. 19 Nastavení zatížení na dno [Autor]

4.5. Výsledky simulace

Jelikož je sklo materiál v křehkém stavu, bylo zapotřebí zvolit pevnostní podmínku z hypotéz pro křehké stavy. Vzhledem k informacím o materiálu a druhu zatěžování byla zvolena „Mohr – Coulombova“ pevnostní podmínka(10), ze které byly stanoveny jednotlivé bezpečnosti (rovnice (13)). Pro lepidlo byla uvažována pevnostní podmínka energetická. Dále byly sledovány deformace v jednotlivých směrech ($U_1= x$, $U_2= y$, $U_3= z$) a deformace celková.

„Mohr-Coulombova“ pevnostní podmínka:

$$\sigma_{red} = \sigma_{max} - q \cdot \sigma_{min} \leq \sigma_D \quad (10)$$

Kde: σ_{red} – redukované napětí [N/mm^2],

σ_{max} – maximální napětí [N/mm^2],

σ_{min} – minimální napětí [N/mm^2],

q – poměr dovoleného napětí v tahu (za ohybu) a dovoleného napětí v tlaku [-],

$$q = \frac{\sigma_{pt}}{\sigma_{pd}} = \frac{7}{750} N/mm^2 \quad (11)$$

σ_D – dovolené napětí [N/mm^2].

Energetická pevnostní podmínka:

$$\sigma_{red}^{ener.} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1 * \sigma_2 + \sigma_2 * \sigma_3 + \sigma_3 * \sigma_1)} \leq \sigma_D \quad (12)$$

Kde: $\sigma_{1,2,3}$ – hlavní napětí [N/mm^2],

σ_D – dovolené napětí [N/mm^2].

Bezpečnost:

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{red}} \quad (13)$$

kde: k – bezpečnost [-],

σ_D – dovolené napětí [N/mm^2].

Dovolené napětí pro sklo bylo dopočítáno ze vztahu pro návrhovou pevnost (14).

$$f_{g,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k}}{\gamma_{M,A}} + \frac{k_v (f_{b,k} - f_{g,k})}{\gamma_{M,v}} = \frac{0,29 \cdot 1,45}{1,8} + \frac{1 \cdot (120 - 45)}{1,2} = 69,75 N/mm^2 \quad (14)$$

kde: $f_{g,d}$ – návrhová pevnost upraveného skla,

k_{mod} – součinitel délky trvání zatížení,

k_{sp} – součinitel povrchu skla,

$f_{g,k}$ – charakteristická pevnost plaveného skla,

$\gamma_{M,A}$ – součinitel spolehlivosti plaveného skla,

k_v – součinitel způsobu výroby,

$f_{b,k}$ – charakteristická pevnost upraveného skla,

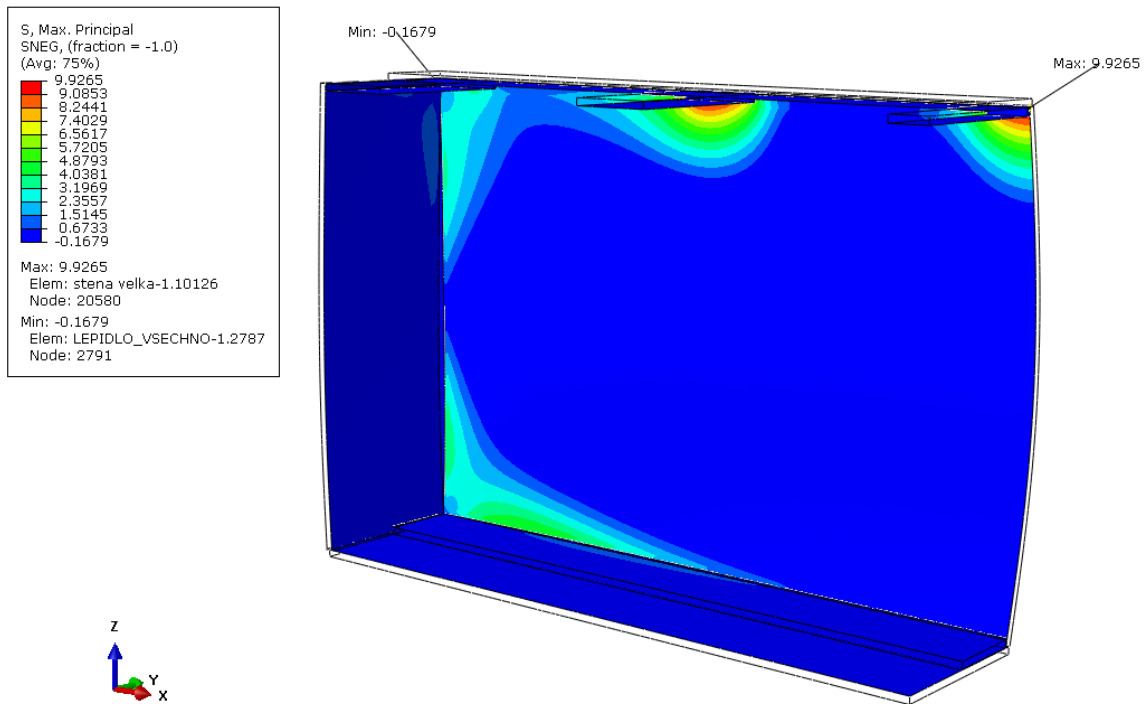
$\gamma_{M,v}$ – součinitel spolehlivosti upraveného skla.

Jednotlivé koeficienty v rovnici (14) byly zvoleny dle Tabulka 9. Ta vychází z ČSN EN 16612.

Tabulka 9 Koeficienty pro návrh upravené pevnosti [26]

| | | | |
|--|---|-----------------------|---------------------------|
| Zatěžovací vztah | Délka trvání zatížení | k_{mod} | |
| Zatížení lidmi | Krátkodobé (30 s) | 0,89 | |
| Vítr | Jednorázové (10 min) | 1,0 | |
| Vítr | Krátkodobé (10 min) | 0,74 | |
| Sníh | Střednědobé (1 týden) | 0,44 | |
| Denní změna teploty - 11 hod | Střednědobé | 0,57 | |
| roční změna teploty 6 měsíců | Střednědobé | 0,39 | |
| Vlastní tíha, stálé zatížení | Dlouhodobé | 0,29 | |
| | | | |
| Druh skla | $k_{s,p}$ | | Úprava povrchu pískováním |
| | Bez úpravy | | |
| Plavené sklo | 1,0 | 0,6 | |
| Tažené sklo | 1,0 | 0,6 | |
| Smaltované plavené/tažené | (1,0) | (0,6) | |
| Vzorované sklo | 0,75 | 0,45 | |
| Smaltované vzorované sklo | (0,75) | (0,45) | |
| Sklo s drátěnou vložkou | 0,75 | 0,45 | |
| Vzorované sklo s drátěnou vložkou | 0,6 | 0,36 | |
| | | | |
| Charakteristická pevnost plaveného skla | $f_{g,k} = 45 \text{ N/mm}^2$ | | |
| | | | |
| Druh skla | Součinitel γ_M | | |
| Plavené sklo | $\gamma_{M,A} = 1,8$ | | |
| Pevnostně upravené sklo | $\gamma_{M,v} = 1,2$ | | |
| | | | |
| Způsob výroby | Součinitel k_v | | |
| Horizontální způsob tvrzení (nebo jiný způsob bez použití kleští či jiného zařízení pro uchycení skla) | 1,0 | | |
| Vertikální způsob tvrzení (za použití kleští či jiného zařízení pro uchycení skla) | 0,6 | | |
| | | | |
| Druh skla | Charakteristická pevnost skla $f_{b,k}$ | | |
| | Tepelně tvrzené sklo | Tepelně zpevněné sklo | Chemicky zpevněné sklo |
| Plavené nebo tažené sklo | 120 | 70 | 150 |
| Vzorované sklo | 90 | 55 | 100 |
| Smaltované plavené nebo tažené sklo | 75 | 45 | - |
| Smaltované vzorované sklo | 75 | 45 | - |

4.6. Namáhání celé sestavy



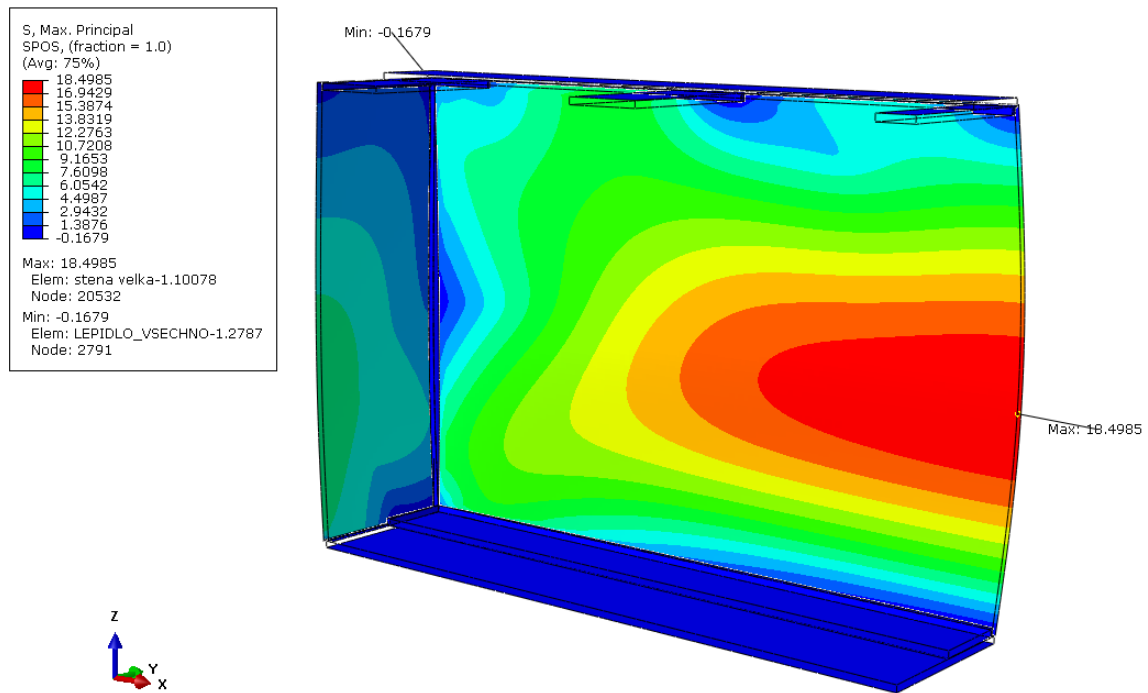
Obr. 20 Maximální napětí celé sestavy vnitřní část desek [Autor]

Na Obr. 20 je výsledek celé simulované sestavy. Deformace jsou zvětšeny 20x pro názornost. Jedná se o rozmezí maximálního napětí na vnitřní straně stěn. Největší napětí je v koutu mezi stěnou a výztuhami (pozice č. 2 a č. 6, Obr. 13 Pozice adherendu). Nejmenší napětí je mezi lepidlem a stěnou (pozice č. 7 a č. 2, Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty maximálního napětí se pohybují v rozmezí $(-0,167 \div 9,926) \text{ N/mm}^2$. Přičemž záporné hodnoty jsou tlaková napětí a kladné hodnoty jsou tahová napětí.

Největší napětí na vnitřní straně:

$$\sigma_{\max_in} = 9,926 \text{ N/mm}^2 \quad (15)$$



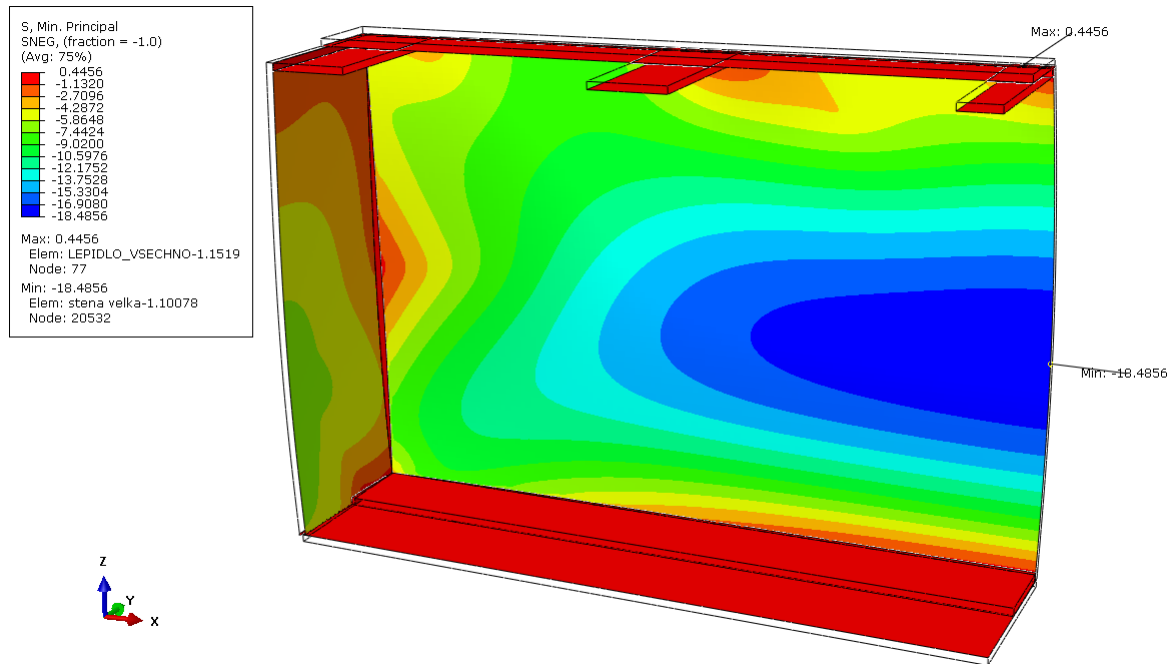
Obr. 21 Maximální napětí celé sestavy vnější část desek [Autor]

Na Obr. 21 je výsledek celé simulované sestavy. Deformace jsou zvětšeny 20x pro názornost. Jedná se o rozmezí maximálního napětí na vnější straně stěn. Největší napětí je ve středu největší stěny (pozice č. 2, Obr. 13 Pozice adherendu). Nejmenší napětí je mezi lepidlem a stěnou (pozice č. 7 a č. 2, Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty maximálního napětí se pohybují v rozmezí $(-0,167 \div 18,50) \text{ N/mm}^2$. Přičemž záporné hodnoty jsou tlaková napětí a kladné hodnoty jsou tahová napětí.

Největší napětí na vnější straně:

$$\sigma_{\max_out} = 18,50 \text{ N/mm}^2 \quad (16)$$



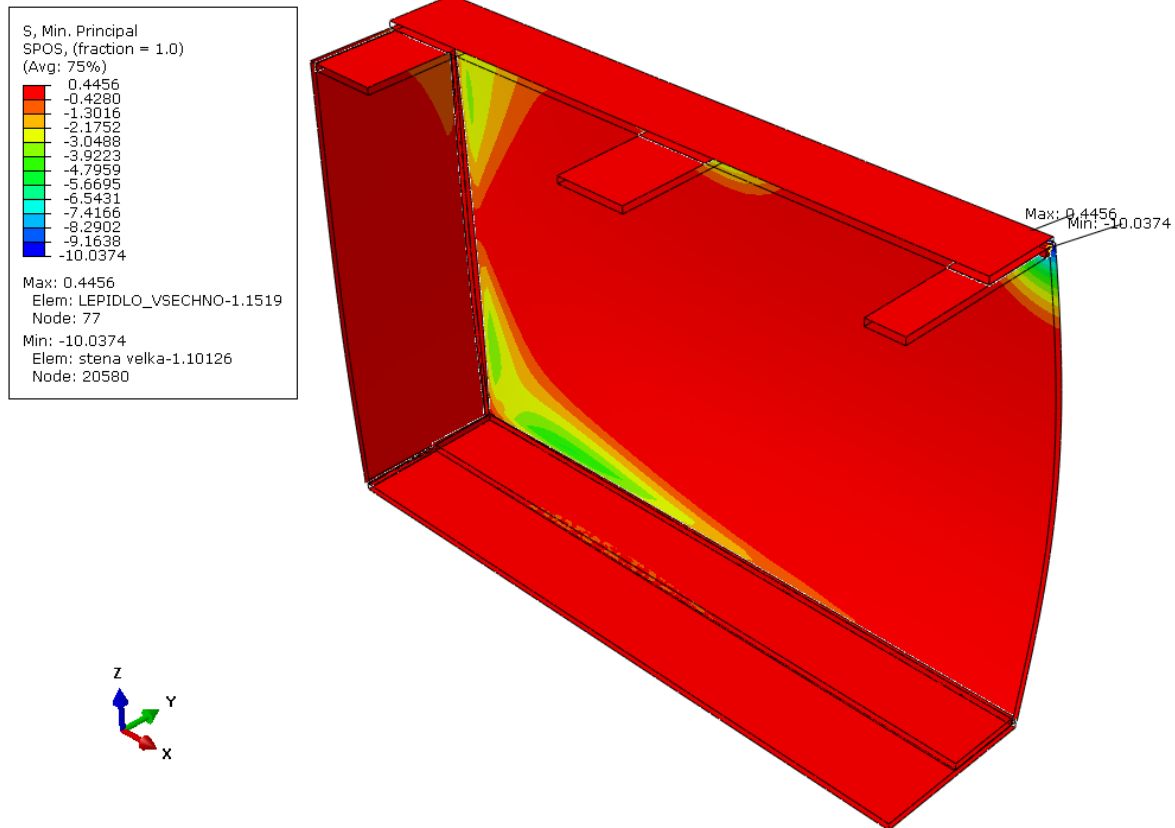
Obr. 22 Minimální napětí celé sestavy vnitřní část desek [Autor]

Na Obr. 22 je výsledek celé simulované sestavy. Deformace jsou zvětšeny 20x pro názornost. Jedná se o rozmezí minimálního napětí na vnitřní straně stěn. Největší napětí je mezi lepidlem a horní výztuhou (pozice č. 7 a č. 5, Obr. 13 Pozice adherendu). Nejmenší napětí je ve středu největší stěny (pozice č. 2, Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty maximálního napětí se pohybují v rozmezí $(-18,49 \div 0,445) \text{ N/mm}^2$. Přičemž záporné hodnoty jsou tlaková napětí a kladné hodnoty jsou tahová napětí.

Nejmenší napětí na vnitřní straně:

$$\sigma_{\min_in} = -18,49 \text{ N/mm}^2 \quad (17)$$



Obr. 23 Minimální napětí celé sestavy vnější část desek [Autor]

Na Obr. 23 je výsledek celé simulované sestavy. Deformace jsou zvětšeny 20x pro názornost. Jedná se o rozmezí minimálního napětí na vnější straně stěn. Největší napětí je mezi lepidlem a výztuhou (pozice č. 7 a č. 2, Obr. 13 Pozice adherendu). Nejmenší napětí je v koutu mezi lepidlem a výztuhou horní (pozice č. 7 a č. 5, Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty minimálního napětí se pohybují v rozmezí $(-10,04 \div 0,445) \text{ N/mm}^2$. Přičemž záporné hodnoty jsou tlaková napětí a kladné hodnoty jsou tahová napětí.

Nejmenší napětí na vnější straně:

$$\sigma_{\min_out} = -10,04 \text{ N/mm}^2 \quad (18)$$

Redukovaná napětí byla vypočtena pro vnitřní (in) a vnější (out) části stěn ze vztahu (10):

$$\sigma_{red_in} = 9,926 - \frac{7}{750} \cdot (-18,49) \doteq 10,13 \text{ N/mm}^2 \quad (19)$$

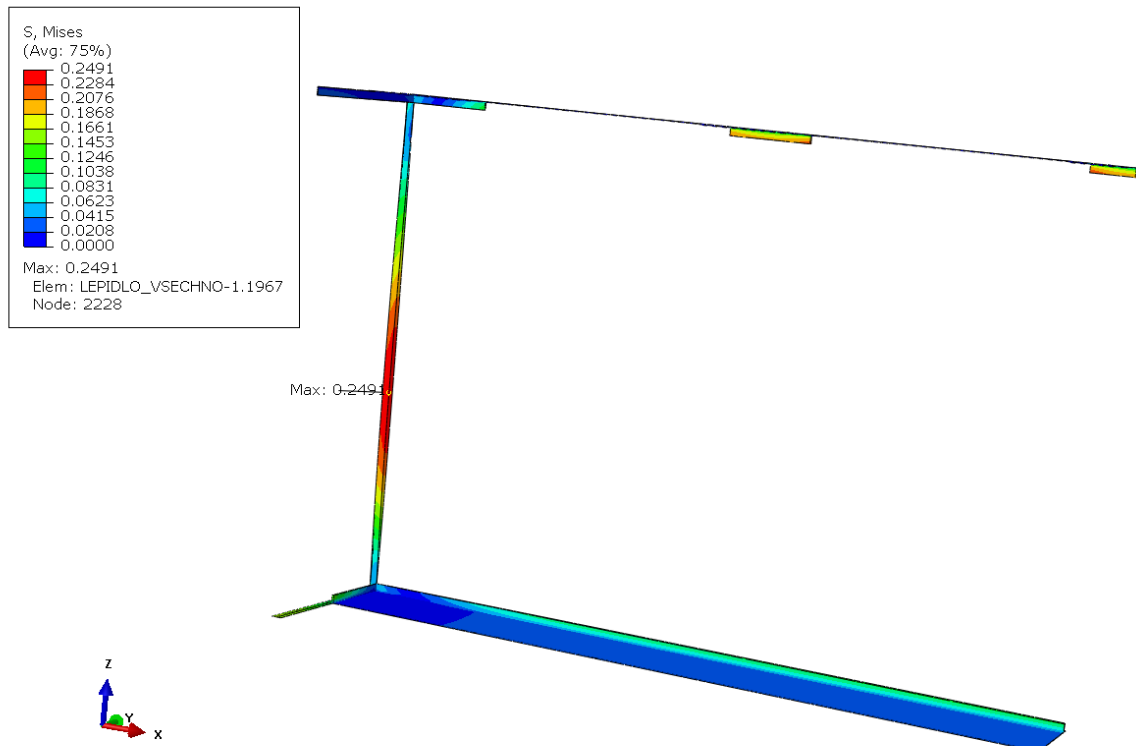
$$\sigma_{red_out} = 18,5 - \frac{7}{750} \cdot (-10,04) \doteq 18,58 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

Jelikož je redukované napětí v rovnici (20) větší než v rovnici (19), bylo použito pro stanovení bezpečnosti:

$$k = \frac{f_{f,d}}{\sigma_{red_out}} = \frac{67,75}{18,58} \doteq 3,75 \quad (21)$$

Z rovnice (21) je patrné, že stěny akvária můžeme považovat za navržené s dostatečnou bezpečností.

4.7. Namáhání adheziva



Obr. 24 Zatížení pouze adheziva [Autor]

Na Obr. 24 je výsledek zatížení vyjmutého adheziva. Pro názornost jsou deformace zvětšeny 10x, při větším zvětšení dochází ke zkreslení výsledků. Největší napětí je ve spoji stěn, pozice č. 2 a č. 3 (Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty redukovaného napětí se pohybují v rozmezí $(21,25 \cdot 10^{-6} \div 0,2491) \text{ N/mm}^2$.

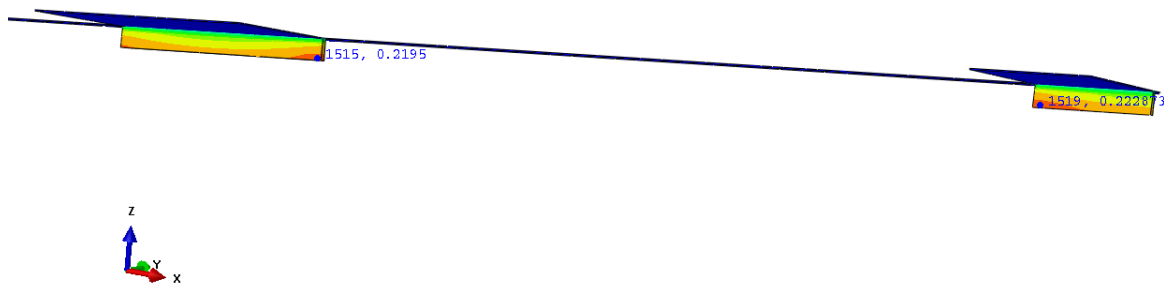
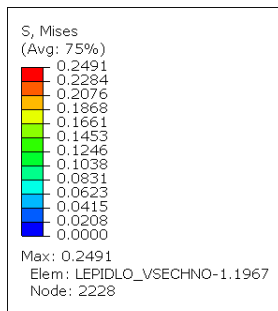
Největší redukované napětí zatíženého adheziva je:

$$\sigma_{red\ max}^{ener.} = 0,2491 \text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

Z redukovaného napětí (22) byla určena bezpečnost (23) dle materiálových hodnot (Tabulka 7):

$$k = \frac{\sigma_{pt}}{\sigma_{red\ max}^{ener.}} = \frac{2}{0,2491} \doteq 8 \quad (23)$$

Dle rovnice (23) je očividné, že použité lepidlo je navrženo s dostatečnou bezpečností.



Obr. 25 Další kritické místa zatíženého adheziva [Autor]

Na Obr. 25 jsou zobrazeny další nejvíce namáhaná místa adheziva. Jedná se o spojení výztuh a stěny, pozice č. 6 a č. 2 (Obr. 13 Pozice adherendu).

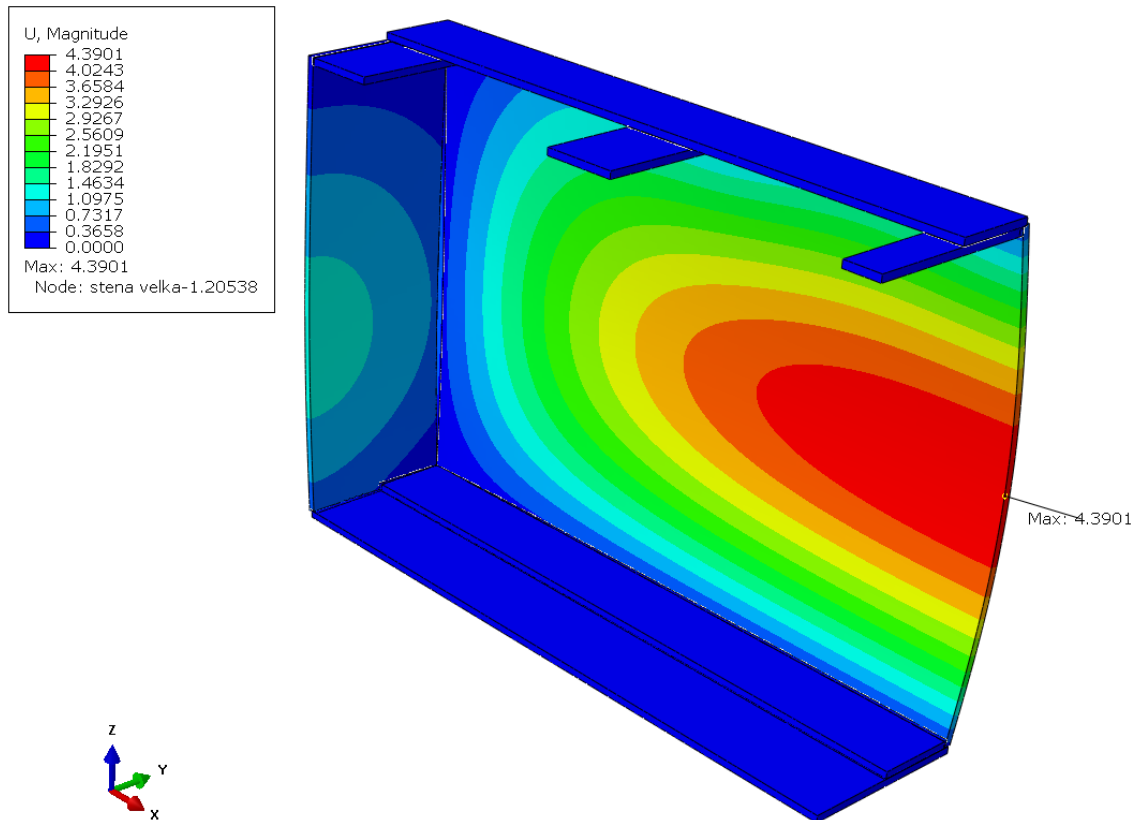
Největší redukované napětí těchto kritických míst je:

$$\sigma_{red\ max}^{ener.} = 0,219\ N/mm^2 \quad (24)$$

$$\sigma_{red\ max}^{ener.} = 0,222\ N/mm^2 \quad (25)$$

Jelikož výsledky (24) a (25) jsou nižší než (22), jsou i tato místa navržena s dostatečnou bezpečností.

4.8. Deformace celé sestavy



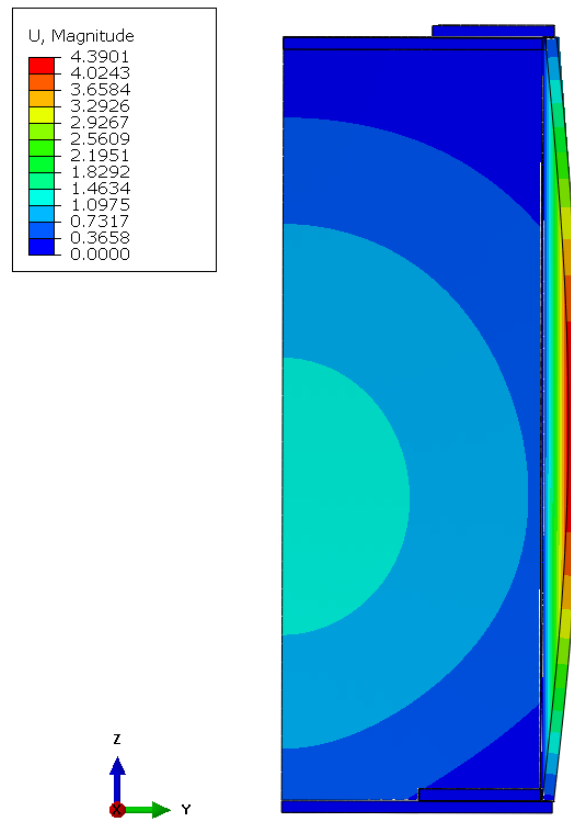
Obr. 26 Celková deformace celé sestavy [Autor]

Na Obr. 26 je výsledek deformace celé sestavy. Deformace jsou zvětšeny 20x pro názornost. Největší deformace je ve středu největší stěny, pozice č. 2 (Obr. 13 Pozice adherendu).

Hodnoty deformace se pohybují v rozmezí (0÷4,39) mm.

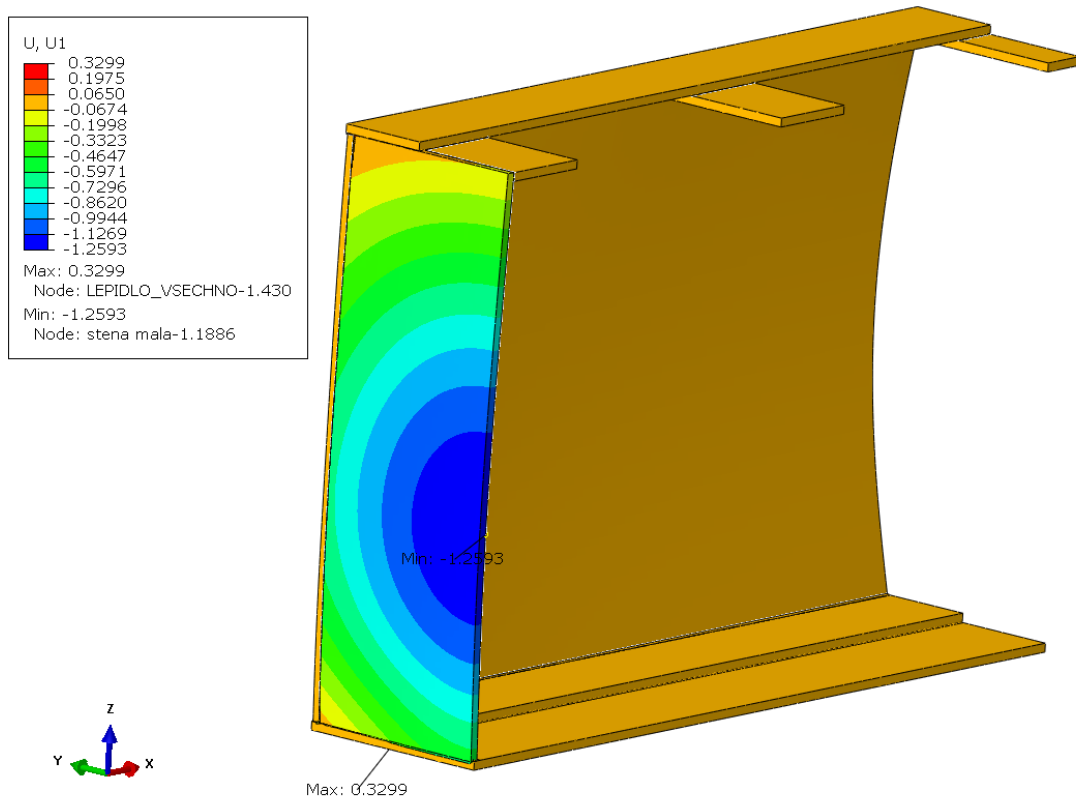
Největší deformace celé sestavy je:

$$u_{cel.} = 4,39 \text{ mm} \quad (26)$$

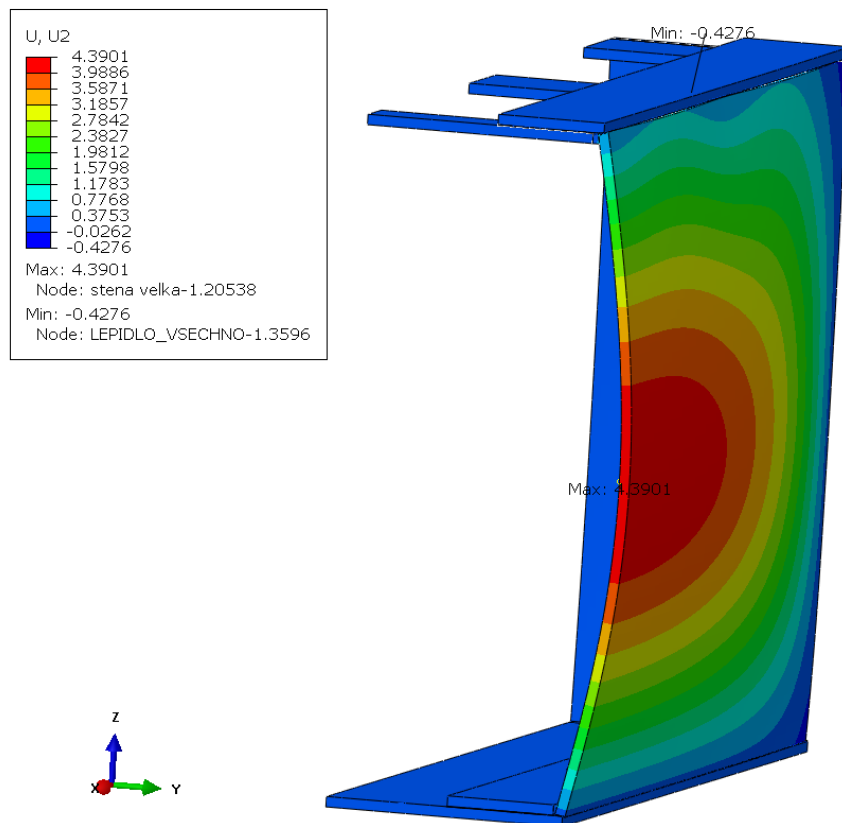


Obr. 27 Celková deformace celé sestavy v rovině YZ [Autor]

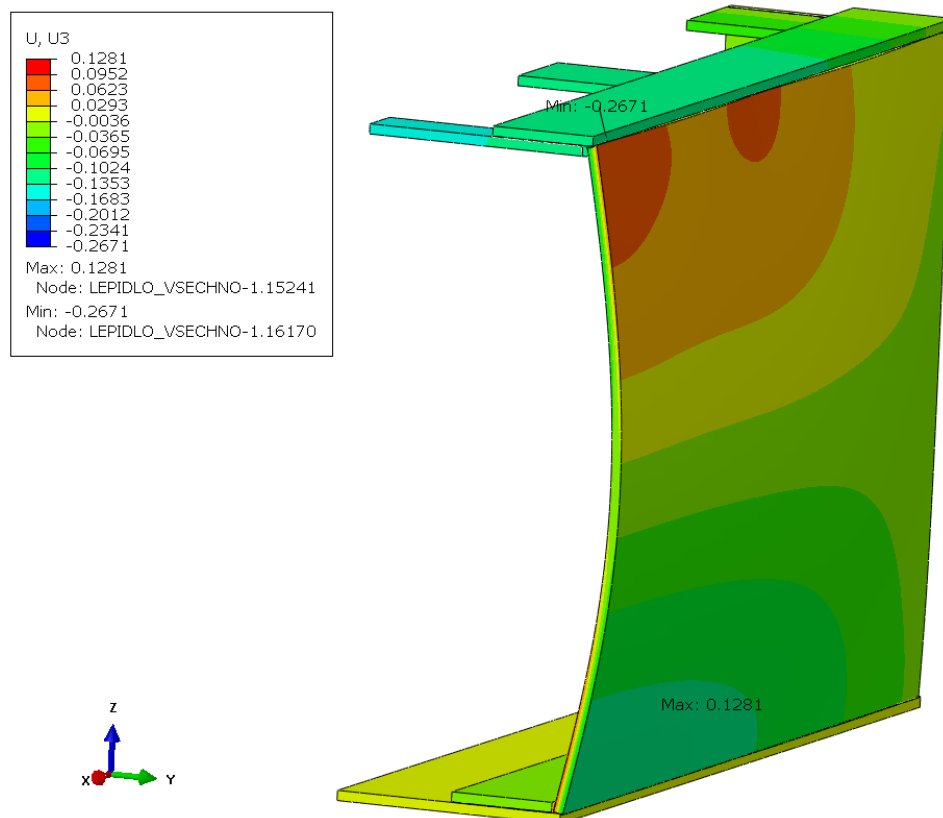
Na Obr. 27 je znázorněna celková deformace celé sestavy zvětšena pouze 10x.



Obr. 28 Deformace celé sestavy ve směru x [Autor]



Obr. 29 Deformace celé sestavy ve směru y [Autor]



Obr. 30 Deformace celé sestavy ve směru z [Autor]

Na Obr. 28 je znázorněna deformace ve směru x. Tato deformace je pro názornost zvětšena 20x. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-0,427 \div 0,329)$ mm. Největší deformace ve směru x je:

$$u_{-x} = 1,260 \text{ mm} \quad (27)$$

Zároveň se jedná o deformaci stěny pozice č. 3 (Obr. 13 Pozice adherendu).

Na Obr. 29 je znázorněna deformace ve směru y. Tato deformace je pro názornost zvětšena 20x. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-1,259 \div 4,390)$ mm. Největší deformace ve směru y je:

$$u_{+y} = 4,390 \text{ mm} \quad (28)$$

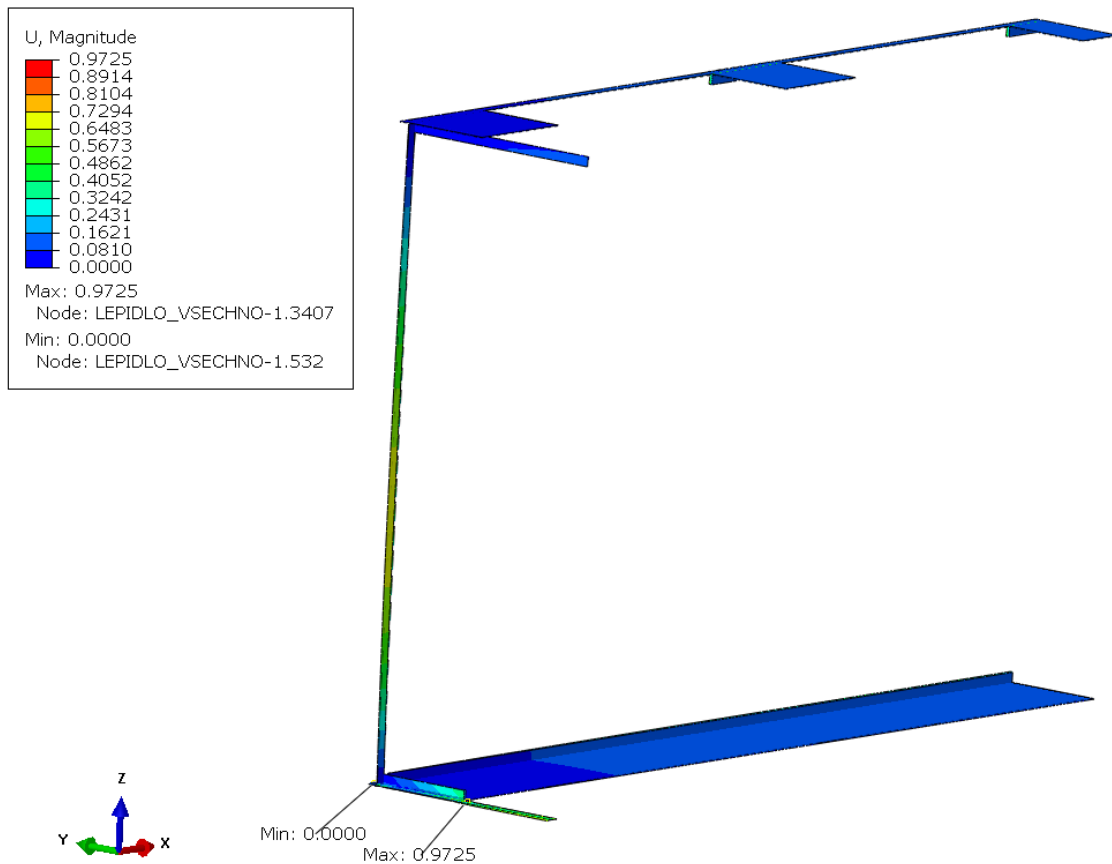
Zároveň se jedná o deformaci stěny, pozice č. 2 (Obr. 13 Pozice adherendu).

Na Obr. 30 je znázorněna deformace ve směru z. Tato deformace je pro názornost zvětšena 20x. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-0,267 \div 0,128)$ mm. Největší deformace ve směru z je:

$$u_{-z} = 0,267 \text{ mm} \quad (29)$$

Zároveň se jedná o deformaci lepidla (pozice č. 7) mezi stěnou, pozice č. 2 a výztuhou, pozice č. 6 (Obr. 13 Pozice adherendu).

4.9. Deformace adheziva



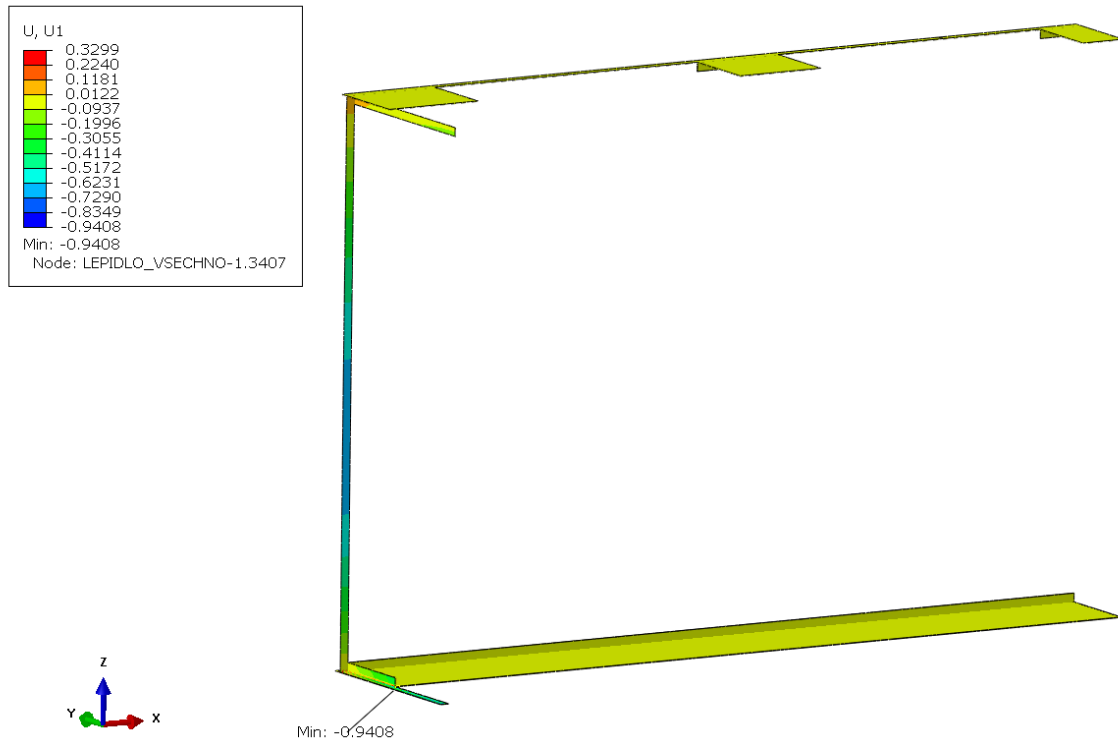
Obr. 31 Celková deformace lepidla [Autor]

Na Obr. 31 je výsledek deformace adheziva. Pro názornost jsou deformace zvětšeny 10x, při větším zvětšení dochází ke zkreslení výsledků. Největší deformace je ve spoji stěny pozice č. 3 a dna, pozice č. 1 (Obr. 13 Pozice adherendu).

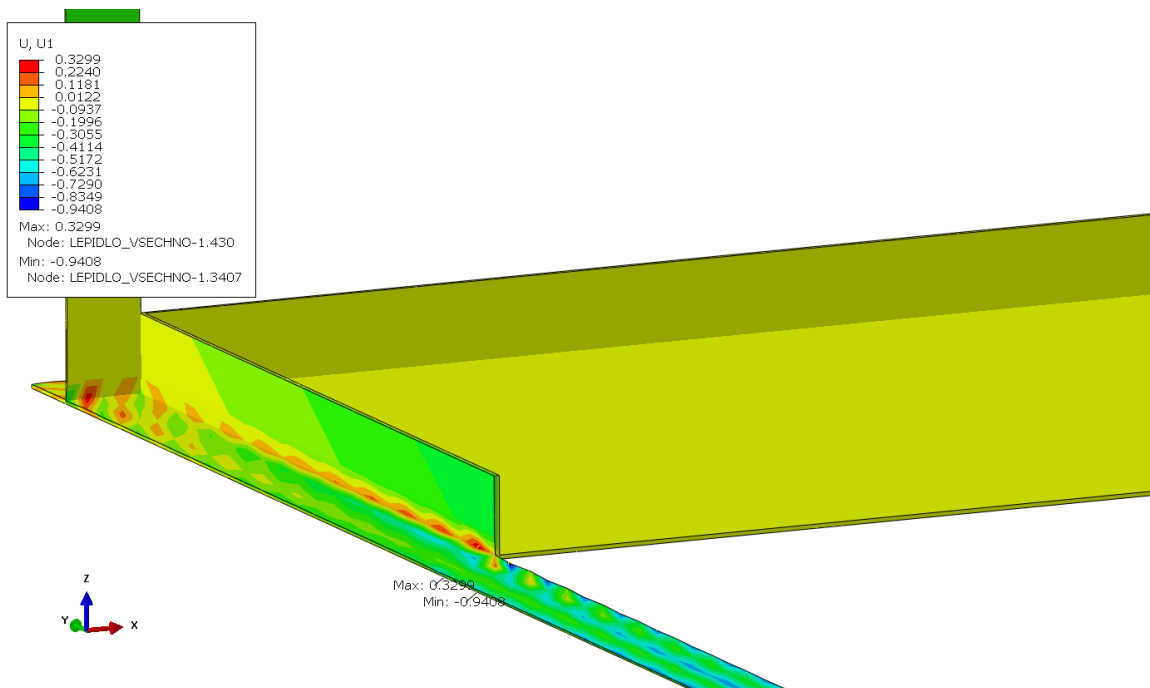
Hodnoty deformace se pohybují v rozmezí $(0,276 \cdot 10^{-7} \div 0,972)$ mm.

Největší deformace adheziva je:

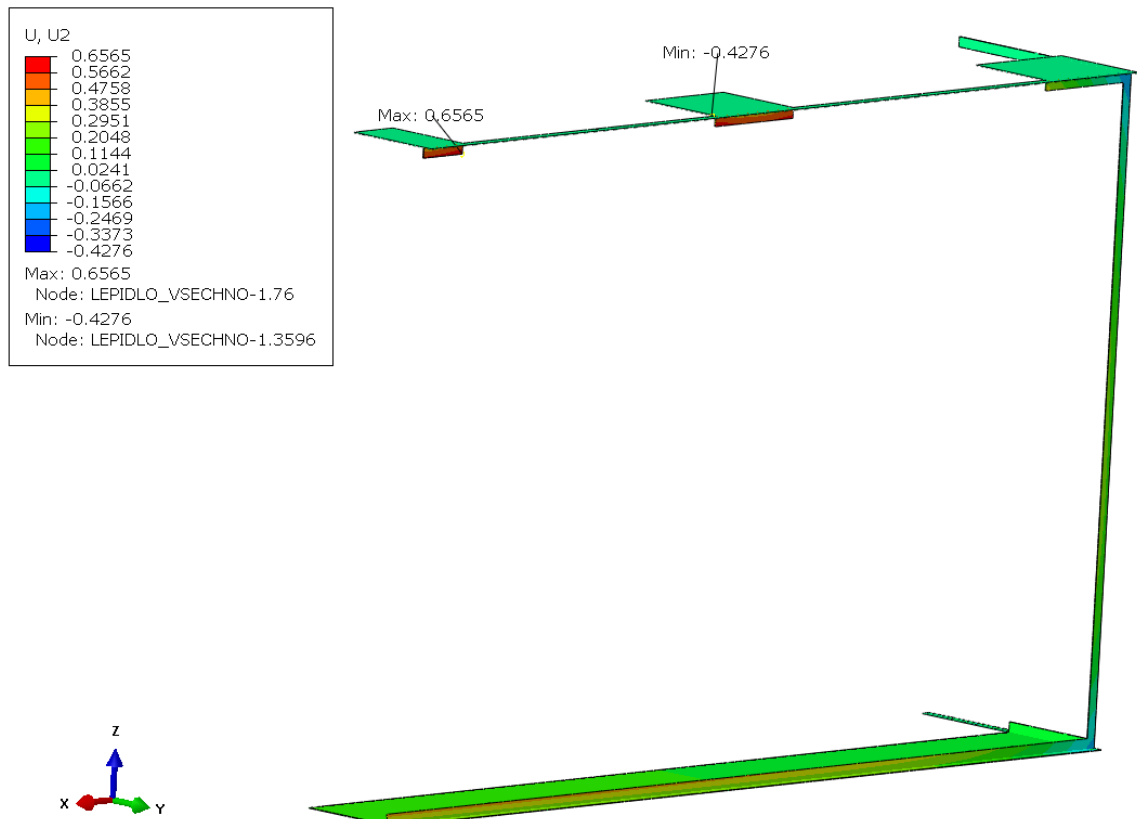
$$u_{cel.} = 0,972 \text{ mm} \quad (30)$$



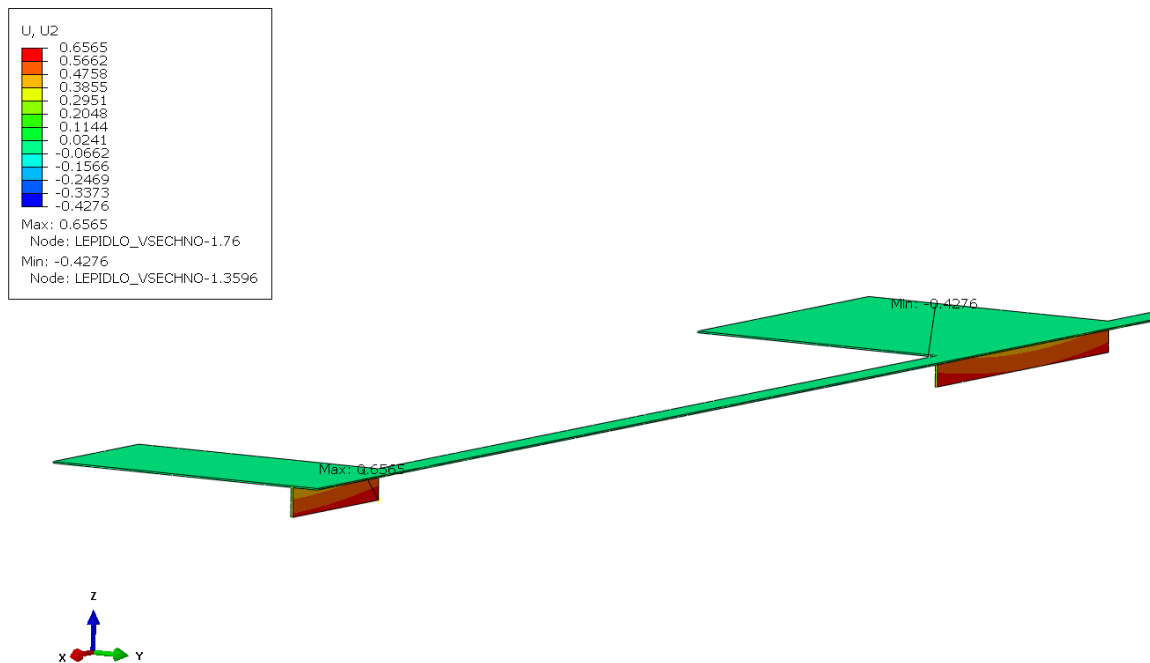
Obr. 32 Deformace adheziva ve směru x [Autor]



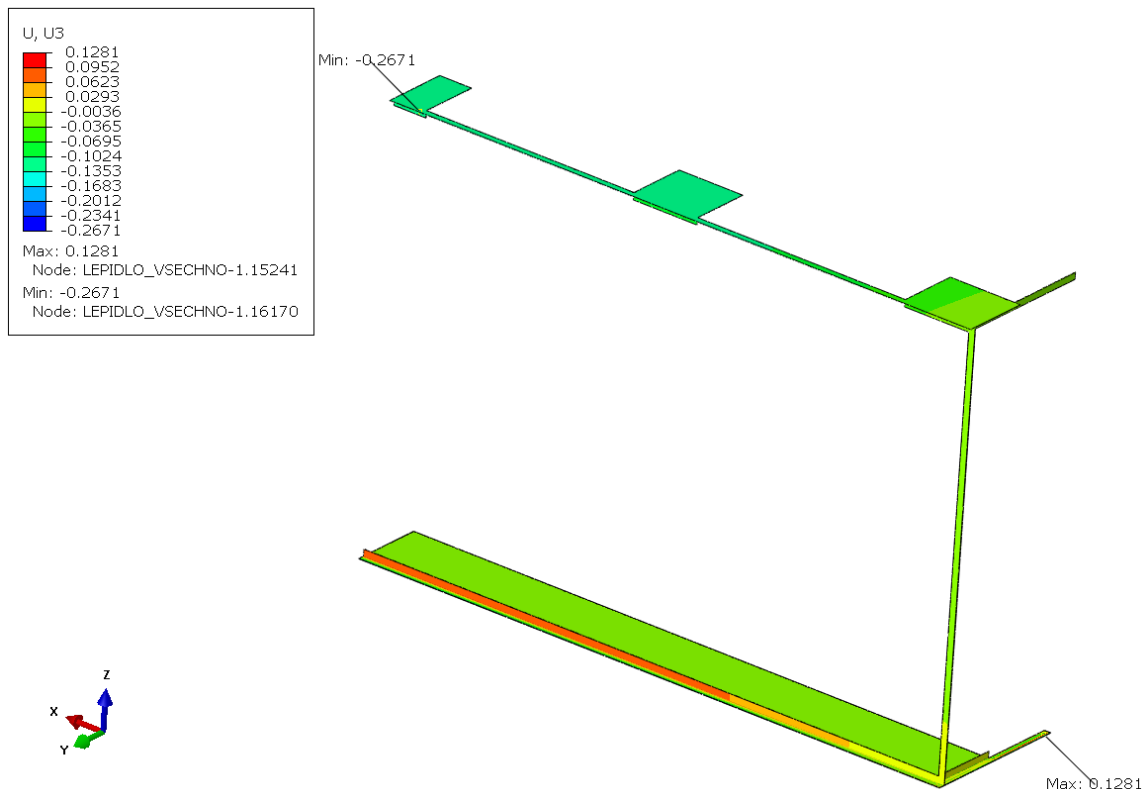
Obr. 33 Detail deformace adheziva ve směru x [Autor]



Obr. 34 Deformace adheziva ve směru y [Autor]



Obr. 35 Detail deformace adheziva ve směru y [Autor]



Obr. 36 Deformace adheziva ve směru z [Autor]

Na (Obr. 32÷Obr. 36) jsou deformace adheziva v měřítku (nejsou zvětšeny), jelikož by docházelo ke zkreslení a nepřehlednosti výsledků.

Na Obr. 32 je znázorněna deformace adheziva ve směru x. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-0,940 \div 0,329)$ mm. Největší deformace ve směru x je:

$$u_{-x} = 0,940 \text{ mm} \quad (31)$$

Na Obr. 33 je znázorněn detail deformace adheziva ve směru x. Jedná se o spoj mezi stěnou krátkou (pozice č. 3), stěnou dlouhou (pozice č. 2), dnem (pozice č. 1) a výztuhou dna (pozice č. 4) (Obr. 13 Pozice adherendu).

Na Obr. 34 je znázorněna deformace adheziva ve směru y. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-0,427 \div 0,656)$ mm. Největší deformace ve směru y je:

$$u_{+y} = 0,656 \text{ mm} \quad (32)$$

Na Obr. 35 je znázorněn detail deformace adheziva ve směru y. Jedná se o spoj mezi příčkou horní (pozice č. 6), stěnou dlouhou (pozice č. 2) a výztuhou horní (pozice č. 5) (Obr. 13 Pozice adherendu).

Na Obr. 36 je znázorněna deformace ve směru z. Hodnoty deformace jsou v rozmezí $(-0,267 \div 0,128)$ mm. Největší deformace ve směru z je:

$$u_{-z} = 0,267 \text{ mm} \quad (33)$$

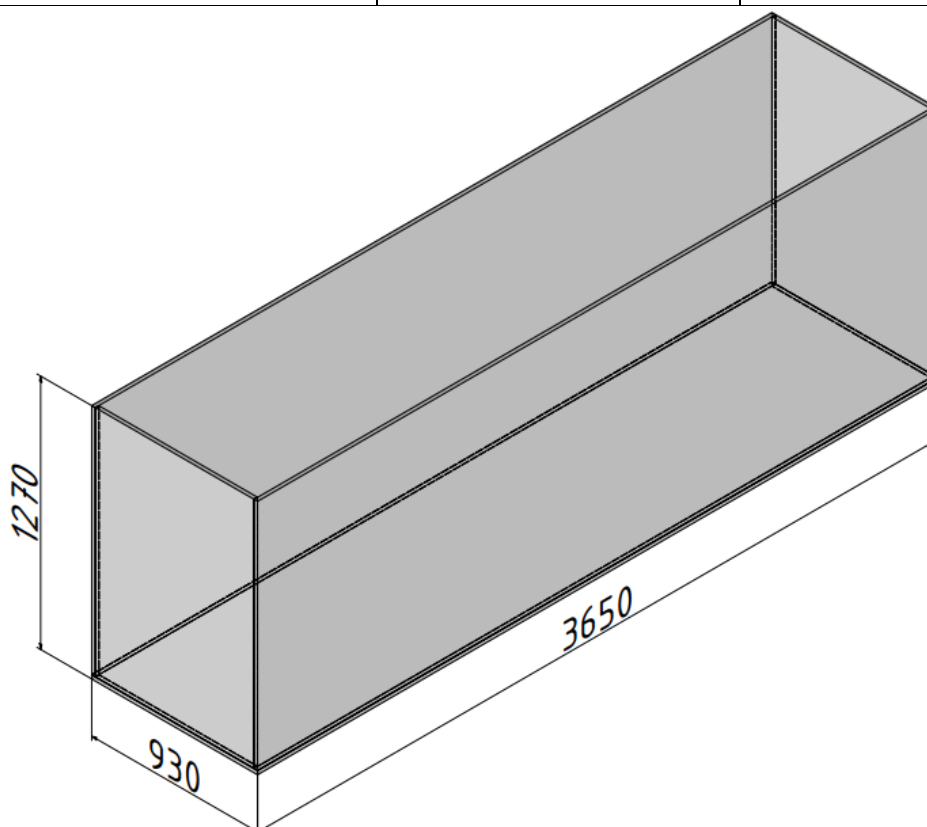
4.10. Souhrn výsledků

Tabulka 10 Souhrn výsledků zatížení [Autor]

| | Celá sestava | | Lepidlo | |
|--|-----------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | Vnitřní stěna | Vnější stěna | Vnitřní stěna | Vnější stěna |
| Maximální napětí (σ_{max}) [N/mm ²] | 9,926 | 18,49 | 0,668 | 0,668 |
| Minimální napětí (σ_{min}) [N/mm ²] | -18,48 | -10,03 | 0,445 | 0,445 |
| | σ_{red}^{Mohr} | | $\sigma_{red}^{ener.}$ | |
| Redukované napětí [N/mm ²] | 10,13 | 18,58 | 0,249 | |
| Dovolená pevnost [N/mm ²] | $f_{g,d} = 69,75$ | | $\sigma_{pt} = 2$ | |
| Bezpečnost k [-] | 3,75 | | 8 | |

Tabulka 11 Souhrn výsledků deformace [Autor]

| Směr deformace | Celá sestava | | Lepidlo | |
|---------------------------------|--------------|--------|---------|--------|
| U1=x [mm] | -0,427 | +0,329 | -0,940 | +0,329 |
| U2=y [mm] | -1,259 | +4,390 | -0,427 | +0,656 |
| U3=z [mm] | -0,267 | +0,128 | -0,267 | +0,128 |
| Celková největší deformace [mm] | 4,390 | | 0,940 | |



Obr. 37 Alternativní konstrukce akvária [Autor]

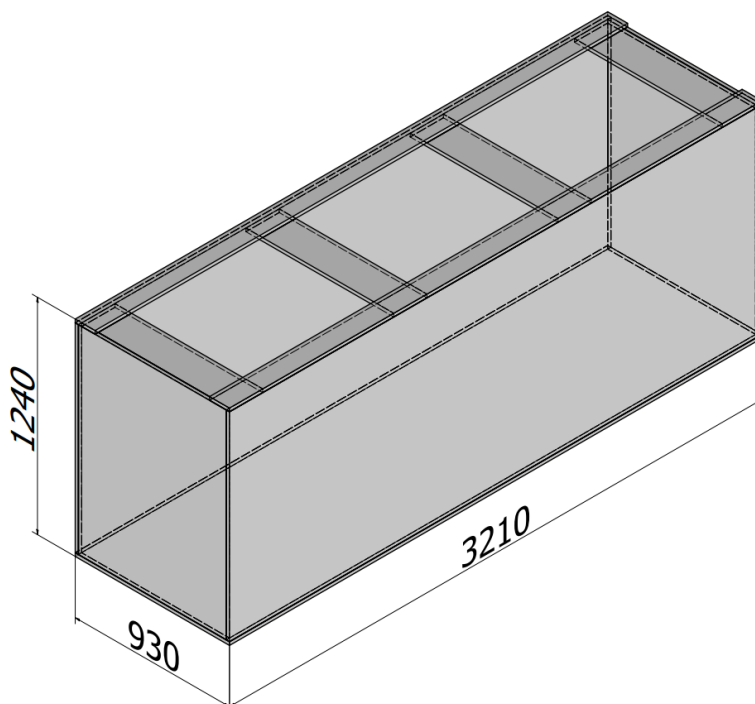
Na Obr. 37 je znázorněna alternativní konstrukce akvária bez výztuh. Tento obrázek je pouze ilustrační, výkres viz Příloha 10. V Tabulka 12 jsou znázorněny výsledky analýzy alternativní konstrukce. Z výsledků je patrné, že volba konstrukce rozšířené o výztuhy je správná. Jelikož u varianty bez výztuh dochází k větším napětím na největší stěně a celková bezpečnost poklesne z hodnoty 3,75 na hodnotu 2,81, což představuje přibližně 25 % pokles. U lepidla dojde ke snížení bezpečnosti z hodnoty 8 na 4,5, což představuje rozdíl přibližně 40 %. Deformace jsou uvedeny v Tabulka 13. Navýšení deformací pro celou sestavu je přibližně 7 % a pro lepidlo téměř 50 %.

Tabulka 12 Souhrn výsledků zatížení alternativní konstrukce [Autor]

| | Celá sestava | | Lepidlo | |
|--|-----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Vnitřní stěna | Vnější stěna | Vnitřní stěna | Vnější stěna |
| Maximální napětí (σ_{max}) [N/mm ²] | 12,31 | 23,93 | 0,255 | 0,255 |
| Minimální napětí (σ_{min}) [N/mm ²] | -23,87 | -12,78 | -0,225 | -0,225 |
| | σ_{red}^{Mohr} | | σ_{red}^{HMH} | |
| Redukované napětí [N/mm ²] | 12,53 | 24,04 | 0,442 | |
| Dovolená pevnost [N/mm ²] | $f_{g,d} = 69,75$ | | $\sigma_{pt} = 2$ | |
| Bezpečnost k [-] | 2,81 | | 4,5 | |

Tabulka 13 Souhrn výsledků deformace alternativní konstrukce [Autor]

| Směr deformace | Celá sestava | | Lepidlo | |
|---------------------------------|--------------|--------|---------|--------|
| U1=x [mm] | -0,224 | +0,090 | -0,224 | +0,090 |
| U2=y [mm] | -0,233 | +4,698 | -0,233 | +1,438 |
| U3=z [mm] | -0,062 | +0,063 | -0,062 | +0,063 |
| Celková největší deformace [mm] | 4,698 | | 1,438 | |



Obr. 38 Menší alternativní konstrukce [Autor]

Na Obr. 38 je znázorněna menší alternativní konstrukce akvária. Tato konstrukce je cenově dostupnější a splňuje vyšší bezpečnost než předchozí dvě varianty (Obr. 37, Obr. 12). Výsledky zatížení a deformací alternativní konstrukce jsou znázorněny v Tabulka 14 a Tabulka 15. Obr. 38 je pouze ilustrační, výkres viz Příloha 11.

Tabulka 14 Souhrn výsledků zatížení menší alternativní konstrukce [Autor]

| | Celá sestava | | Lepidlo | |
|--|-----------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | Vnitřní stěna | Vnější stěna | Vnitřní stěna | Vnější stěna |
| Maximální napětí (σ_{max}) [N/mm ²] | 8,49 | 17,79 | 0,457 | 0,457 |
| Minimální napětí (σ_{min}) [N/mm ²] | -17,72 | -8,41 | 0,304 | 0,304 |
| | σ_{red}^{Mohr} | | $\sigma_{red}^{ener.}$ | |
| Redukované napětí [N/mm ²] | 8,62 | 17,86 | 0,351 | |
| Dovolená pevnost [N/mm ²] | $f_{g,d} = 69,75$ | | $\sigma_{pt} = 2$ | |
| Bezpečnost k [-] | 3,9 | | 5,7 | |

Tabulka 15 Souhrn výsledků deformace menší alternativní konstrukce [Autor]

| Směr deformace | Celá sestava | | Lepidlo | |
|---------------------------------|--------------|--------|---------|--------|
| U1=x [mm] | -0,345 | +2,174 | -0,345 | +1,138 |
| U2=y [mm] | -0,084 | +0,236 | -0,084 | +0,236 |
| U3=z [mm] | -0,142 | +0,074 | -0,142 | +0,074 |
| Celková největší deformace [mm] | 2,17 | | 1,14 | |

Dle časopisu „International Journal of Fisheries and Aquatic Studies“ je pro stavbu akvárií standardně volena bezpečnost $k = 3,8$. Tato bezpečnost vychází ze zkušeností firem zabývajících se realizací akvárií v Americe (např. „Premier Aquarium Service“). [27] Při uvažování této bezpečnosti a návrhové pevnosti upraveného skla, lze zvolenou konstrukční variantu (Obr. 12) považovat za navrženou s dostatečnou bezpečností (Tabulka 10 Souhrn výsledků zatížení [Autor]). Varianta, která sloužila k porovnání vhodnosti konstrukce (Obr. 37 Alternativní konstrukce akvária [Autor]) požadovanou bezpečnost nespĺňuje. Alternativní menší konstrukce (Obr. 38), která je finančně dostupnější, také splňuje požadovanou bezpečnost (Tabulka 14 Souhrn výsledků zatížení menší alternativní konstrukce [Autor]).

4.11. Cenové zhodnocení

Ceny (Tabulka 16 a Tabulka 17) jsou navrženy pomocí online kalkulace dodavatele. [28] Ceny jsou uvedeny bez teplotního tvrzení, dopravy a montáže. Ceny skleněných desek o tloušťce 19 mm se běžně pohybují v rozmezí (3000÷5000) Kč/m² bez úpravy povrchu. Přesná kalkulace a možnosti jsou stanoveny dodavatelem. Tyto ceny jsou tedy pouze orientační. Technické parametry a možnosti, viz Příloha 7 a Příloha 8.

Firma „Prumex“ nabízí akvaristické lepidlo Den Braven za cenu 175 Kč. [29]

Tabulka 16 Orientační ceny akvária o zadaných rozměrech [Autor]

| POZ | NÁZEV | ROZMĚR | MATERIÁL | CENA ZA POČET [Kč] | KS |
|-----|--------------------|-------------|--------------------|----------------------|----|
| 1 | DNO | 3650 x 930 | SKLO TL.19 mm | 18 982 | 1 |
| 2 | STĚNA DLOUHÁ | 3650 x 1250 | SKLO TL.19 mm | 50 997 | 2 |
| 3 | STĚNA KRÁTKÁ | 1250 x 890 | SKLO TL.19 mm | 12 499 | 2 |
| 4 | VÝZTUHA DNA | 3610 x 200 | SKLO TL.19 mm | 8 141 | 2 |
| 5 | VÝZTUHA HORNÍ | 3650 x 200 | SKLO TL.19 mm | 8 231 | 2 |
| 6 | PŘÍČKA HORNÍ | 890 x 200 | SKLO TL.19 mm | 5 177 | 5 |
| 7 | LEPIDLO DEN BRAVEN | | SILIKONOVÉ LEPIDLO | 2 451 | 14 |
| | | | | Celkem 106 478 Kč | |

Tabulka 17 Orientační ceny menšího akvária [Autor]

| POZ | NÁZEV | ROZMĚR | MATERIÁL | CENA ZA POČET [Kč] | KS |
|-----|--------------------|-------------|--------------------|---------------------|----|
| 1 | DNO | 3210 x 930 | SKLO TL.19 mm | 16 699 | 1 |
| 2 | STĚNA DLOUHÁ | 3210 x 1200 | SKLO TL.19 mm | 43 069 | 2 |
| 3 | STĚNA KRÁTKÁ | 1200 x 890 | SKLO TL.19 mm | 12 002 | 2 |
| 4 | VÝZTUHA HORNÍ | 3210 x 120 | SKLO TL.19 mm | 4 383 | 2 |
| 5 | PŘÍČKA HORNÍ | 890 x 200 | SKLO TL.19 mm | 4 142 | 4 |
| 6 | LEPIDLO DEN BRAVEN | | SILIKONOVÉ LEPIDLO | 700 | 4 |
| | | | | Celkem 80 994 Kč | |

4.12. Celkové zhodnocení

Z (Tabulka 10 Souhrn výsledků zatížení [Autor] Tabulka 10=Tabulka 17) vyplývá jako nejlepší konstrukční varianta menší akvárium s výztuhami, viz Obr. 38. Tato varianta splňuje bezpečnostní požadavky a je cenově přívětivá.

Tabulka 18 Výsledky zvolené varianty [Autor]

| | Sklo | Lepidlo |
|--|-------------------|-------------------|
| Redukované napětí [N/mm ²] | 17,86 | 0,351 |
| Dovolená pevnost [N/mm ²] | $f_{g,d} = 69,75$ | $\sigma_{pt} = 2$ |
| Bezpečnost k [-] | 3,9 | 5,7 |
| Orientační cena akvária | 80 994 Kč | |

5. Závěr

Náplní této bakalářské práce je nalezení vhodných materiálů, lepidel a konstrukčních provedení pro realizaci velkoobjemových akvárií. Stěžejní částí práce je dále provedení a vyhodnocení MKP deformačních a pevnostních analýz. Práce obsahuje i orientační cenovou kalkulaci materiálových nákladů.

Rekapitulace vytyčených cílů bakalářské práce

1. Vypracování rešerše
2. Návrh a analýzy konstrukčních variant
3. Souhrn výsledků navržených variant a jejich zhodnocení
4. Ekonomické zhodnocení

Druhá kapitola pojednává o vhodných materiálech pro výrobu akvárií a mechanických vlastnostech těchto materiálů. Vhodným materiálem pro výrobu akvárií je jednak sklo, nebo akrylátové sklo (PMMA). U akvárií větších objemů (nad 600 l) je vhodné volit pro jejich realizaci akrylátové sklo. Akvária s objemem do 600 l je cenově výhodnější vyrábět ze skla. Při překročení tohoto objemu je cena srovnatelná, navíc akrylátové sklo dosahuje lepších mechanických vlastností.

Třetí kapitola se zaměřuje na výrobu akvárií. V jejím úvodu jsou zmíněny možné technologie výroby, mezi které patří odlévání, svařování nebo lepení. Velkoobjemová akvária se nejčastěji lepí. Proto je tato kapitola zaměřena na teorie vzniku lepeného spoje, vlastnosti lepidel a použití jednotlivých lepidel. Pro lepení skel nebo akrylátových skel (PMMA) se používají lepidla epoxidová nebo silikonová. Epoxidová lepidla mají pevnost v tahu přibližně 30x větší než lepidla silikonová, ale často nesplňují atestaci na dlouhodobý kontakt s pitnou vodou pro zdravotní nezávadnost. Proto je nutné volit lepidla silikonová, která mají sice výrazně nižší pevnost v tahu, ale splňují kritérium zdravotní nezávadnosti.

Čtvrtá kapitola je věnována praktické části bakalářské práce. Jsou zde navrženy jednotlivé konstrukční varianty velkoobjemových lepených akvárií vyrobených ze skla. Dále jsou zde provedeny a vyhodnoceny MKP deformační a pevnostní analýzy těchto variant. Tato kapitola obsahuje i orientační kalkulaci materiálových nákladů. Jsou zde prezentovány konstrukční návrhy tří variant. Akvárium s výztuhami, akvárium bez výztuh (sloužilo jako porovnávací k volbě varianty) a dále pak rozměrově menší ekonomičtější varianta akvária s výztuhami. Pevnostně deformační analýzou MKP byl ověřen předpoklad nutných výztuh konstrukce akvária. Tyto výztuhy se umísťují k horním hranám akvária jako žebra a příčné nosníky. Dále se mohou umístit další výztuhy k lepeným spojům u dna. Výztuhy navyšují pevnost a tuhost celé soustavy, nedochází tedy k tak velkým deformacím. Současně vzroste celková míra bezpečnost, která by se měla volit minimálně $k = 3,8$. K ověření bezpečnostního faktoru skla je zapotřebí dopočítat tzv. návrhovou pevnost upraveného skla. Ta zahrnuje délku trvání zatížení, povrchové úpravy, způsob výroby, spolehlivost materiálu a charakteristickou pevnost upravovaného a neupraveného skla. Tyto součinitele se stanovují dle ČSN EN 16612.

Cena skleněných desek se odvíjí od rozměrů a povrchových úprav. Přesnou cenu materiálu stanoví dodavatel až po přesně specifikované objednávce. Skleněné desky o tloušťce 19 mm pouze s opracováním hran a bez povrchových úprav se pohybují v cenovém rozmezí (3.000,- až 5.000,-) Kč/m². Dále se v ceně musí zohlednit doprava a finální instalace, jelikož velkoobjemová akvária se nejčastěji lepí až na expozičním místě.

Při celkovém zhodnocení konstrukčních variant byla posuzována celková míra bezpečnosti a cena konstrukce. Při pevnostní kontrole největšího akvária s výztuhami, byla stanovena bezpečnost hraničně pod doporučenou hodnotou. Akvárium bez výztuh nesplňovalo požadovanou bezpečnost a menší varianta s výztuhami jako jediná dosahovala vyšší hodnoty bezpečnosti, než je hodnota doporučená ($k = 3,8$). Zároveň je tato varianta, oproti největší s výztuhami, cenově úspornější přibližně o 24 %.

Úsporná konstrukční varianta skleněného lepeného akvária s výztuhami bude v blízké budoucnosti realizována v rodinném domě u zákazníka.

Všechny vytyčené cíle této bakalářské práce byly splněny.

6. Použitá literatura

- [1] FRANK, Stanislav. Akvaristika. Praha: Práce, 1984, 368 s. ISBN 24-110-84.
- [2] Glass Vs Acrylic Aquarium. Fish Lab [online]. Fish Lab, 2021 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://fishlab.com/glass-vs-acrylic-aquarium/>
- [3] Sklo. Institut geologického inženýrství Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU Ostrava [online]. [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>
- [4] HLAVÁČ, Jan. Základ technologie silikátů. 2. upr. vyd. Praha: SNTL/Alfa, 1988, 516 s.
- [5] SHELBY, J. E. Introduction to glass science and technology [online]. 2nd ed. London: Royal Society of Chemistry, 2005 [cit. 2023-04-26]. ISBN 0-85404-639-9. Dostupné z: <https://belglas.files.wordpress.com/2021/01/shelbyj.e.introductiontoglassscienceandtechnology2nded.rsc20050854046399.pdf>
- [6] VEER, Frederic. The Possibilities of Glass Bond Adhesives [online]. In: . Germany, 2015, March 10, 2015, s. 1-3 [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266532024_The_Possibilities_of_Glass_Bond_Adhesives
- [7] KUPILÍK, Václav. Mechanické vlastnosti skla [online]. In: . Praha: Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2006, s. 1-6 [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18080982-2-mechanicke-vlastnosti-skla.html>
- [8] Fyzika 1. In: Fyzika 1 [online]. 3. Praha: VŠCHT Praha, 2011, s. 123 [cit. 2022-08-16]. ISBN 978-80-7080-777-4. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_ekniha-001/pdf/123.pdf
- [9] Úvod do studia materiálů. In: Úvod do studia materiálů [online]. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, s. 177-179 [cit. 2022-08-16]. ISBN 80-7080-568-4. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-568-4/pages-img/002.html
- [10] FANDERLÍK, Ivan. Vlastnosti skel. Praha: Informatorium, 1996, 314 s. Sklářská knihovna. ISBN 80-854-2791-5.
- [11] Vlastnosti skla. In: VERKON [online]. Praha: VERKON, 2009 [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/vlastnosti-skla/>
- [12] ELIÁŠOVÁ, Martina. Sklo – materiál pro nosné konstrukce. In: Portál ČVUT [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze Fakulta stavební, 2014, 25. 4. 2014 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2014-11-Eliasova.pdf>
- [13] MACEK, Karel a Petr ZUNA. Nauka o materiálu. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1996, 209 s. ISBN 80-010-1507-6.
- [14] Key Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA) [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polymethyl-methacrylate-pmma-acrylic-plastic/key-applications>

- [15] MORIMUNE-MORIYA, Seira a Takashi NISHINO. Polymer: Strong, tough, transparent and highly heat-resistant acrylic glass based on nanodiamond. In: Polymer [online]. Elsevier BV, 2021, s. 1-7 [cit. 2023-04-26]. ISSN 0032-3861. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386121002846>
- [16] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. In: Publi [online]. Svitavy, 2015, 16. 6. 2015 [cit. 2022-08-30]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [17] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. Nauka o materiálu I. a II.: cvičení. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [18] BERTHOLD, A, L NICOLA, P.M SARRO a M.J VELLEKOOP. Glass-to-glass anodic bonding with standard IC technology thin films as intermediate layers. In: Science Direct [online]. Sensors and Actuators A: Physical. Elsevier Science S.A., 2000, 15 May 2000 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424799003763>
- [19] BERAN, Rudolf. Základy teorie lepení [online]. In: BENEŠ, Libor. 2017, s. 3-5 [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf
- [20] Lepení polymerních materiálů. In: Lepení polymerních materiálů [online]. Praha: Akademie věd ČR, 2019, 22. 11. 2019, s. 1-3 [cit. 2022-08-20]. Dostupné z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/Lepeni_polymernich_materialu.pdf
- [21] Loctite Worldwide Design Handbook [kniha]. 2. Erasmusdruck: Corporation Locite, 1998. ISBN 0-9645590-0-5.
- [22] OSTEN, Miloš a Josef MLEZIVA. Práce s lepidly a tmely. 3., přeprac. a zkrác. vyd. Praha: Grada, 1996, 129 s. ISBN 80-7169-338-3.
- [23] POKORNÝ, Jiří. Lepení a tmelení v dílně i domácnosti: [dřevo, kovy, plasty, sklo, další materiály a výrobky]. 1. Praha: Grada, 2000, 104 s. ISBN 80-7169-857-1.
- [24] KANAVAL, Jan. Lepené spoje. Praha, 2020.
- [25] JEŽEK, Jan, Blanka VÁRADIOVÁ a Josef ADAMEC. Mechanika tekutin. Vyd. 3. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1615-3.
- [26] ČSN EN 16612 – Sklo ve stavebnictví – Stanovení únosnosti příčně zatížených tabulí skla výpočtem, ČNI 2019.
- [27] The design and construction of Aquaria. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2014, 3. ISSN 2347-5129. Dostupné také z: https://www.fisheriesjournal.com/archives/2015/vol2issue3/PartA/3.pdf?fbclid=IwAR0F_h_HDp2HO6kszb7eOYzjrd-p3FO5Xmq0000lp4aSB8rQl2ymKWBGhLY
- [28] Výpočet cen řezaných a broušených skel. *Sklo Bendl* [online]. Humpolec, 2023 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.sklobendl.cz/cenik/vypocet-ceny-skla/>
- [29] *Prumex* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/den-braven-akvaristicke-lepidlo-280-ml-transparentni-kartuse-_30811rl/?gclid=Cj0KCQjw9deiBhC1ARIsAHLjR2Db6f7WJEJRk4Dh6USRF4_tkDzeZsTMOaBqQEMVNIkuE2Z82ZIn8RYaAgk0EALw_wcB

7. Seznam obrázků

| | |
|--|--------|
| Obr. 1 Znázornění struktur [4]..... | - 4 - |
| Obr. 2 Nejčastější závady na skleněných tabulích, způsobené mechanickými a tepelnými vlivy [7] | - 5 - |
| Obr. 3 Namáhání smykem hranolu o rozměrech a, b, c [8]..... | - 6 - |
| Obr. 4 Deformační křivky polymerů v tahu [15]..... | - 11 - |
| Obr. 5 Deformační křivky polymerů v tlaku [15] | - 11 - |
| Obr. 6 Deformační křivky polymerů v ohybu [16] | - 12 - |
| Obr. 7 Mechanická adheze, tzv. patentkový efekt [20] | - 13 - |
| Obr. 8 Adheze a koheze v lepeném spoji [21]..... | - 14 - |
| Obr. 9 Zatěžování a průběh napětí lepených spojů [24]..... | - 18 - |
| Obr. 10 Deformace jednostranně přeplátovaných spojů v důsledku excentrického působení sil [22]..... | - 19 - |
| Obr. 11 Koncentrace napětí při namáhání kombinací tahu a ohybu [23]..... | - 19 - |
| Obr. 12 Rozměry akvária [Autor]..... | - 20 - |
| Obr. 13 Pozice adherendu [Autor]..... | - 21 - |
| Obr. 14 1/4 akvária pro analýzu [Autor] | - 22 - |
| Obr. 15 Hydrostatický tlak na stěnu akvária [25]..... | - 23 - |
| Obr. 16 Definice okrajových podmínek [Autor] | - 24 - |
| Obr. 17 Definice zatížení [Autor]..... | - 25 - |
| Obr. 18 Nastavení hydrostatického zatížení na stěny [Autor]..... | - 25 - |
| Obr. 19 Nastavení zatížení na dno [Autor]..... | - 25 - |
| Obr. 20 Maximální napětí celé sestavy vnitřní část desek [Autor] | - 28 - |
| Obr. 21 Maximální napětí celé sestavy vnější část desek [Autor] | - 29 - |
| Obr. 22 Minimální napětí celé sestavy vnitřní část desek [Autor] | - 30 - |
| Obr. 23 Minimální napětí celé sestavy vnější část desek [Autor] | - 31 - |
| Obr. 24 Zatížení pouze adheziva [Autor] | - 32 - |
| Obr. 25 Další kritické místa zatíženého adheziva [Autor] | - 33 - |
| Obr. 26 Celková deformace celé sestavy [Autor]..... | - 34 - |
| Obr. 27 Celková deformace celé sestavy v rovině YZ [Autor] | - 35 - |
| Obr. 28 Deformace celé sestavy ve směru x [Autor] | - 35 - |
| Obr. 29 Deformace celé sestavy ve směru y [Autor] | - 36 - |
| Obr. 30 Deformace celé sestavy ve směru z [Autor]..... | - 36 - |
| Obr. 31 Celková deformace lepidla [Autor]..... | - 38 - |
| Obr. 32 Deformace adheziva ve směru x [Autor] | - 39 - |
| Obr. 33 Detail deformace adheziva ve směru x [Autor]..... | - 39 - |
| Obr. 34 Deformace adheziva ve směru y [Autor] | - 40 - |
| Obr. 35 Detail deformace adheziva ve směru y [Autor]..... | - 40 - |
| Obr. 36 Deformace adheziva ve směru z [Autor]..... | - 41 - |
| Obr. 37 Alternativní konstrukce akvária [Autor] | - 42 - |
| Obr. 38 Menší alternativní konstrukce [Autor] | - 44 - |

8. Seznam tabulek

| | |
|---|--------|
| Tabulka 1 Modul pružnosti E, G a Poissonova konstanta μ [10]..... | - 7 - |
| Tabulka 2 Hodnoty lomové houževnatosti materiálů při 20 °C [9] | - 7 - |
| Tabulka 3 Chemické složení skla [11] | - 9 - |
| Tabulka 4 Technické parametry křemenného skla [11; 12] | - 9 - |
| Tabulka 5 Mechanické vlastnosti akrylátového skla Perspex, viz Příloha 1 | - 12 - |
| Tabulka 6 Kusovník sestavy akvária [Autor] | - 21 - |
| Tabulka 7 Vlastnosti použitého skla [11] | - 22 - |
| Tabulka 8 Vlastnosti použitého adheziva, viz Příloha 3 | - 23 - |
| Tabulka 9 Koeficienty pro návrh upravené pevnosti [26]..... | - 27 - |
| Tabulka 10 Souhrn výsledků zatížení [Autor]..... | - 42 - |
| Tabulka 11 Souhrn výsledků deformace [Autor] | - 42 - |
| Tabulka 12 Souhrn výsledků zatížení alternativní konstrukce [Autor] | - 43 - |
| Tabulka 13 Souhrn výsledků deformace alternativní konstrukce [Autor] | - 43 - |
| Tabulka 14 Souhrn výsledků zatížení menší alternativní konstrukce [Autor] | - 44 - |
| Tabulka 15 Souhrn výsledků deformace menší alternativní konstrukce [Autor]..... | - 44 - |
| Tabulka 16 Orientační ceny akvária o zadaných rozměrech [Autor]..... | - 45 - |
| Tabulka 17 Orientační ceny menšího akvária [Autor] | - 45 - |
| Tabulka 18 Výsledky zvolené varianty [Autor] | - 46 - |

9. Seznam příloh

| |
|--|
| Příloha 1. Data sheet – Casta Acrylic sheet (Perspex) |
| Příloha 2. Technický list – Hysol 3421 |
| Příloha 3. Technický list – Tl 04.54 Akvaristické lepidlo |
| Příloha 4. Výpočet desky 3650x1229mm [Ing. Jan Kanaval, Ph.D.] |
| Příloha 5. Výpočet desky 3650x1250mm [Ing. Jan Kanaval, Ph.D.] |
| Příloha 6. Výpočet desky 3650x1229mm [Ing. Jan Kanaval, Ph.D.] |
| Příloha 7. Data sheet – Planibel |
| Příloha 8. Technické parametry – Planibel Clearvision |
| Příloha 9. Výkres BP-AKV-01-00 |
| Příloha 10. Výkres BP-AKV-02-00 |
| Příloha 11. Výkres BP-AKV-03-00 |

Příloha 1.


Data sheet - Cast Acrylic sheet (Perspex®)

| Property | Test Method | Conditions | Units | Value |
|----------------------------------|-------------|------------|-------------------|--------------------|
| Physical | | | | |
| Relative density | ISO 1183 | | g/cm ³ | 1.19 |
| Water absorption | ISO 62 | | % | 0.2 |
| Mechanical | | | | |
| Tensile strength | ISO 527 | 5mm/min | MPa | 75 |
| Elongation at break | ISO 527 | 5mm/min | % | 4 |
| Flexural modulus | ISO 178 | 2mm/min | MPa | 3210 |
| Flexural strength at yield | ISO 178 | 2mm/min | MPa | 116 |
| Izod impact strength | ISO 180/1A | Notched | kJm-2 | n/a |
| Charpy impact strength | ISO 179 | Unnotched | kJm-2 | 12 |
| Rockwell hardness | ISO 2039-2 | | M scale | 102 |
| Thermal | | | | |
| Vicat softening temperature | ISO 306 | | °C | >110 |
| Coefficient of thermal expansion | ASTM D-696 | | mm/m°C | 0.077 |
| Optical | | | | |
| Light transmission | ASTM D-1003 | 3mm sheet | % | >92 |
| Refractive index | ISO 489/A | | | 1.49 |
| Electrical | | | | |
| Dielectric strength | IEC 243 | | kV/mm-1 | 15 |
| Surface resistivity | IEC 93 | | Ω m-2 | >10 ¹⁴ |
| Flammability | | | | |
| BS 476 Part 7 | | | | Class 3 |
| UL 94 | | | | HB |
| NFP 92-307 | | | | M4 (without drips) |

Simply Plastics Ltd

Unit 6 Fanton Hall | Doublegate Lane | Wickford | Essex | SS12 9JF

www.simplyplastics.com | info@simplyplastics.com | 01268 570703

Příloha 2.

elotechnik.cz
Hysol®

Technický list

Hysol® 3421™

listopadu 2007

POPIS PRODUKTU

Hysol® 3421™ má následující vlastnosti:

| | |
|---|--|
| Technologie | Epoxid |
| Chemický typ | Epoxid |
| Vzhled (Pryskyřice) | Bílá až naředěná pasta ^{LMS} |
| Vzhled (Tvrdivlo) | Jantarový, Čirá kapalina ^{LMS} |
| Vzhled (Smíchaný) | Čirý jantarově žlutý |
| Složky | Dvě složky - pryskyřice a tvrdivlo |
| Viskozita | Střední |
| Mísicí poměr objemový pryskyřice : tvrdivlo | 1 : 1 |
| Mísicí poměr hmotnostní pryskyřice : tvrdivlo | 100 : 90 |
| Vytvrzení | Po zamíchání při pokojové teplotě |
| Aplikace | Lepení |
| Zvláštní výhoda | Výborná adheze na površích z kovů, keramiky, dřeva, skla a tuhých plastů |

Hysol® 3421™ je dvousložkové epoxidové lepidlo, které pomalu vytvrzuje po zamíchání složek při pokojové teplotě. Je to zatékavé lepidlo určené pro všeobecné lepení, které poskytuje vysokou pevnost a vynikající odolnost vůči vlhkosti. Dlouhá doba zpracovatelnosti a střední viskozita činí tento produkt velmi vhodným pro lepení velkých ploch, které potřebují hodně času na přesné ustavení.

TYPICKÉ VLASTNOSTI NEVYTVRZENÉHO MATERIÁLU
Vlastnosti pryskyřice

| | |
|---|---------------------------------|
| Měrná hmotnost při teplotě 25 °C | 1,12 až 1,18 ^{LMS} |
| Bod vzplanutí - viz Bezpečnostní list | |
| Viskozita, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP): | |
| Vřetenno 6, rychlost 2,5 ot/min. | 30 000 až 90 000 ^{LMS} |
| Vřetenno 6, rychlost 5 ot/min. | 60 000 až 100 000 |

Vlastnosti tvrdivla

| | |
|---|---------------------------------|
| Měrná hmotnost při teplotě 25 °C | 0,94 až 1,1 ^{LMS} |
| Bod vzplanutí - viz Bezpečnostní list | |
| Viskozita, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP): | |
| Vřetenno 6, rychlost 5 ot/min. | 9 000 až 19 000 |
| Vřetenno 6, rychlost 10 ot/min. | 11 000 až 19 000 ^{LMS} |

Vlastnosti smíchaného produktu

| | |
|---|--------------------------|
| Doba zpracovatelnosti (LMS) při teplotě 25 °C, minut: | |
| 200 g hmoty | 30 až 150 ^{LMS} |

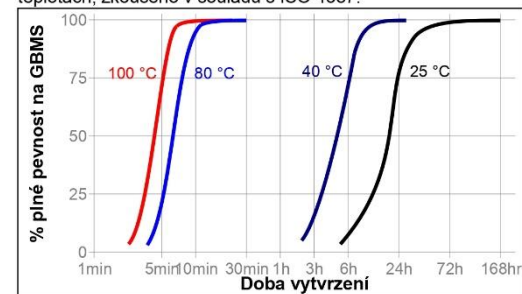
TYPICKÉ VLASTNOSTI PŘI VYTVRZOVÁNÍ
Doba fixace

Doba fixace je definovaná jako čas potřebný k získání pevnosti ve smyku 0.1 N/mm².

Doba fixace, při teplotě 22 °C, hodin 4

Rychlost vytvrzení dle času a teploty

Hysol® 3421™ získává vysokou pevnost při pokojové teplotě během 36 hodin. Rychlost vytvrzení závisí na okolní teplotě, pro zvýšení rychlosti vytvrzení je možné použít zvýšení teploty. Graf níže ukazuje závislost pevnosti ve smyku na čase na zkušebních vzorcích z otryskané oceli při různých teplotách, zkoušeno v souladu s ISO 4587.


TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU

4 mm silné vzorky vytvrzené po dobu 7 dní při teplotě 22 °C

Fyzikální vlastnosti:

| | |
|---|----------------------|
| Koeficient teplotní roztažnosti, ISO 11359-1, K ⁻¹ : | |
| Rozsah teplot: 16,8 °C na 40 °C | 45×10 ⁻⁶ |
| Rozsah teplot: 55,4 °C na 199,4 °C | 173×10 ⁻⁶ |

1,2 mm silné vzorky vytvrzené po dobu 7 dní při teplotě 22 °C

Fyzikální vlastnosti:

| | |
|---|--|
| Koeficient tepelné vodivosti, ISO 8302, W/(m·K) | 0,28 |
| Tvrdoost Shore, ISO 868, Tvrdoměr typu D | 70 až 80 |
| Teplota skelného přechodu, ASTM E 1640, °C | 55 |
| Prodloužení, ISO 527-3, % | 6 |
| Pevnost v tahu, ISO 527-3 | N/mm ² 28 (psi) (4 000) |
| Modul pevnosti v tahu, ISO 527-3 | N/mm ² 965 (psi) (140 000) |
| Pevnost při stlačení, ISO 604 | N/mm ² 69 (psi) (10 000) |

Elektrické vlastnosti:

| | |
|---|--------------------|
| Objemový měrný odpor IEC 60093, Ω·cm | 1×10 ¹⁵ |
| Povrchový měrný odpor, IEC 60093, Ω | 4×10 ¹⁵ |
| Dielektrická konstanta / Ztrátový činitel, IEC 60250: | |
| 1 kHz | 4,3 / 0,04 |
| 1 MHz | 3,7 / 0,04 |
| 10 MHz | 3,6 / 0,03 |



Příloha 2.

TDS Hysol® 3421™, listopadu 2007

TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU

Adhezní vlastnosti

Vytvrzeno po dobu 7 dní při teplotě 22 °C

Pevnost ve smyku , ISO 4587:

| | | |
|---|----------------------------|------------------------------|
| Ocel (otryskaná) | N/mm ² (psi) | 20 až 25 (2 900 až 3 600) |
| Nerezová ocel (otryskaná) | N/mm ² (psi) | 9 až 12 (1 300 až 1 740) |
| Chromátovaný pozink | N/mm ² (psi) | 7 až 12 (1 000 až 1 700) |
| Hliník (obroušený) | N/mm ² (psi) | 8 až 12 (1 200 až 1 700) |
| Hliník (mořený) | N/mm ² (psi) | 12 až 16 (1 700 až 2 300) |
| Ocel s galvanickou úpravou (HD) | N/mm ² (psi) | 9,4 (1 400) |
| Mosaz | N/mm ² (psi) | 8 až 11 (1 200 až 1 600) |
| Skleněnými vlákny vyztužený plast (GRP) | N/mm ² (psi) | 0,5 až 2 (70 až 290) |
| Fenol | N/mm ² (psi) | 2,5 až 4,5 (360 až 650) |
| ABS | N/mm ² (psi) | 0,5 až 1 (70 až 150) |
| Tvrdé dřevo (Mahagon) | N/mm ² (psi) | 6 až 15 (870 až 2 200) |
| Měkké dřevo (červená borovice) | N/mm ² (psi) | 8 až 10 (1 200 až 1 500) |
| Polykarbonát | N/mm ² (psi) | 2,5 až 4 (360 až 580) |

Pevnost v tahu , ISO 6922:

Čep z nízkouhlikaté oceli (otryskaná) na Sodné sklo

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| N/mm ² (psi) | 13 až 18 (1 900 až 2 600) |
|----------------------------|------------------------------|

180° Pevnost v loupání, ISO 8510-2:

Ocel (otryskaná)

| | |
|-----------------|----------------------|
| N/mm (lb/in) | 2 až 3 (11 až 17) |
|-----------------|----------------------|

TYPICKÁ ODOLNOST VŮČI PROSTŘEDÍ

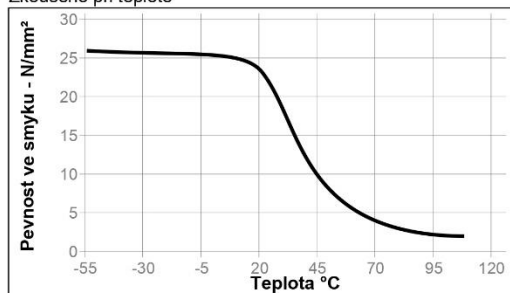
Vytvrzeno po dobu 7 dní při teplotě 22 °C

Pevnost ve smyku , ISO 4587:

Ocel (otryskaná)

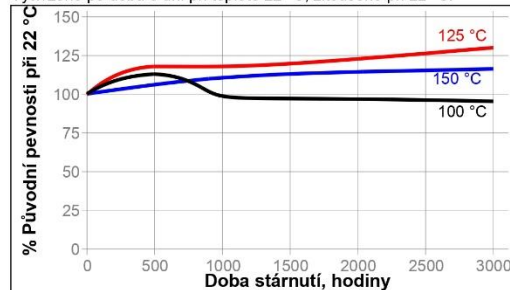
Pevnost za tepla

Zkoušeno při teplotě



Stárnutí za tepla

Vytvrzeno po dobu 5 dní při teplotě 22 °C, zkoušeno při 22 °C.



Odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům

Stárnutí za uvedených podmínek a zkoušeno při teplotě 22 °C.

| Prostředí | °C | % původní pevnosti | | |
|-----------------------|----|--------------------|-------|--------|
| | | 100 h | 400 h | 1000 h |
| Motorový olej | 22 | 100 | 100 | 50 |
| Kyselina octová, 10% | 22 | 70 | 70 | 60 |
| Kyselina sírová, 6,5% | 22 | 100 | 100 | 100 |
| Chlorid sodný, 7,5% | 22 | 100 | 100 | 55 |
| Voda | 60 | 100 | 90 | 90 |
| Voda | 90 | 75 | 75 | 90 |
| Vlhkost, 98% RV | 40 | 100 | 100 | 100 |

Odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům

Stárnutí za uvedených podmínek a zkoušeno při teplotě 22 °C

Pevnost v tahu , ISO 6922:

Ocel (otryskaná) na Sodné sklo

| Prostředí | °C | % původní pevnosti | |
|-----------------|----|--------------------|--------|
| | | 400 h | 1000 h |
| Vlhkost, 98% RV | 40 | 100 | 100 |

VŠEOBECNÉ INFORMACE

Tento produkt se nedoporučuje používat v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a neměl by se používat k těsnění chlóru či jiných silně oxidačních materiálů.

Informace pro bezpečné zacházení s tímto produktem najdete v Bezpečnostním listě (BL).

Tam, kde se používají vodní roztoky pro čištění povrchů před lepením, je důležité zkontrolovat kompatibilitu mycího roztoku a produktu. V některých případech mohou vodní roztoky nepříznivě ovlivnit vytvrzování a vlastnosti produktu.

Pokyny pro použití

- Pro co nejlepší výsledky lepení by měly být lepené povrchy čisté, suché a odmaštěné. Při vysokopevnostním konstrukčním lepení může speciální ošetření povrchu zvýšit pevnost a trvanlivost lepeného spoje.

Americas
+860.571.5100

Europe
+44.1442.278.402

Asia
+81.45.758.1810

Pro získání přímého spojení na Vaše místní obchodní či technické oddělení navštivte:
www.henkel.com/industrial



Příloha 2.

TDS Hysol® 3421™, listopadu 2007

2. Před použitím je potřeba pryskyřici a tvrdidlo řádně promíchat. Produkt může být nanášen přímo z dvojkartuší přes dodaný statický mixer. V tomto případě vytlačte prvních 3 až 5 cm do odpadu. Při použití většího balení produktu řádně smíchejte obě složky v přesném poměru dle objemu nebo hmotnosti, jak je uvedeno v Popisu produktu. Při ručním míchání si odvažte nebo objemově odměřte požadované množství pryskyřice a tvrdidla a usilovně je promíchejte. Míchejte ještě asi 15 sec. po té, co získáte stejnoměrnou barvu produktu.
3. Doporučujeme nemíchat najednou větší množství produktu než 4 kg z důvodu vzniku nežádoucího tepla a přehřátí při reakci obou složek. Mícháním menšího množství zabráníte nežádoucímu zahřívání produktu.
4. Po rozmíchání naneste produkt tak rychle, jak je to možné, na jeden z lepených povrchů. Pro získání maximální pevnosti spoje rozetřete produkt rovnoměrně na oba povrchy. Součásti by měly být spojeny ihned po nanesení rozmíchaného lepidla.
5. Informace o době zpracovatelnosti najdete v části - Typické vlastnosti nevytvrzeného materiálu. Vyšší teplota a menší množství zpracovávaného produktu zkracují dobu zpracovatelnosti.
6. Zabraňte možnému pohybu sestavených součástí během vytvrzování produktu. Lepený spoj by měl být ponechán v klidu, dokud nezíská plnou pevnost dřívě, než budou součásti uvedeny do provozu.
7. Přetok nevytvrzeného produktu může být ořten pomocí organických rozpouštědel (např. Acetonem).
8. Po použití, dřívě než lepidlo vytvrdne, vyčistěte míchací a nanášecí zařízení pomocí horké mýdlové vody.

Materiálová specifikace Loctite^{LMS}

LMS je zavedena od 18. května 2005. Pro udávané vlastnosti produktu jsou pro každou dávku k dispozici zkušební protokoly. Protokoly LMS dále obsahují vybrané parametry řízení jakosti, které se považují za vhodné ke specifikaci pro zákazníka. V neposlední řadě funguje na místě komplexní systém kontroly, který zajišťuje kvalitu výrobku a jeho shodu. Zvláštní požadavky, upřesněné zákazníkem, mohou být řešeny pomocí systému "Henkel Quality".

Skladování

Produkt skladujte v neotevřených originálních nádobách na suchém místě. Informace o skladování produktu jsou uvedeny na etiketě nádob.

Optimální podmínky skladování: 8 °C až 21 °C. Skladování pod 8 °C nebo nad 28 °C může nepříznivě ovlivnit vlastnosti produktu.

Materiál odebraný z nádoby může být během používání kontaminován. Proto jej nikdy nevracejte do originálního obalu. Společnost Henkel nemůže nést odpovědnost za produkt, který byl kontaminován nebo skladován za podmínek jiných, než výše uvedených. Pokud jsou potřebné další informace, kontaktujte Vaše místní technické nebo zákaznické oddělení Henkel Loctite.

Převody

(°C x 1,8) + 32 = °F
kV/mm x 25.4 = V/mil
mm / 25.4 = inches
N x 0.225 = lb
N/mm x 5.71 = lb/in
N/mm² x 145 = psi
MPa x 145 = psi
N·m x 8.851 = lb·in
N·m x 0.738 = lb·ft
N·mm x 0.142 = oz·in
mPa·s = cP

Poznámka

Veškeré údaje zde uvedené slouží pouze pro informaci a jsou považovány za hodnověrné. Nemůžeme přebírat zodpovědnost za výsledky dosažené jinými laboratořemi, nad jejichž postupy nemáme kontrolu. Je pině na zodpovědnosti uživatele posoudit vhodnost jakéhokoli zde uvedeného postupu pro vlastní účely a je také na jeho zodpovědnosti, zda přijme vhodná preventivní opatření pro ochranu majetku a osob proti všem rizikům, která mohou být spojena s používáním produktů a manipulací s nimi.

V tomto duchu se společnost Henkel zvláště zřiká přímých i vyplývajících záruk, včetně záruk obchodovatelnosti a vhodnosti pro daný účel, vznikajících z prodeje nebo používání jejich produktů. Společnost Henkel zvláště odmítá jakoukoli zodpovědnost za následné nebo náhodné škody jakéhokoli druhu, včetně náhrady škod.

Tato diskuze o různých postupech a složeních neznamená, že tyto nejsou patentovány společností Henkel nebo jinými subjekty. Každému budoucímu uživateli doporučujeme, aby si před sériovým použitím otestoval, zda je pro něj navrhovaná aplikace vhodná. Tento produkt může být zahrnut v patentech USA nebo jiných zemí.

Ochranná známka

pokud není uvedeno jinak, všechny ochranné známky v tomto dokumentu jsou ochranné známky společnosti Henkel ve Spojených státech a kdekoli jinde. © značí ochrannou známku zaregistrovanou na Úřadě obchodního vlastnictví Spojených států amerických (U.S. Patent and Trademark Office).

Reference 1.1

Americas
+860.571.5100

Europe
+44.1442.278.402

Asia
+81.45.758.1810

Pro získání přímého spojení na Vaše místní obchodní či technické oddělení navštivte:
www.henkel.com/industrial

Příloha 3.



Den Braven



Technický list

TL 04.54 Akvaristické lepidlo

Výrobek

Jednosložkový acetátový silikonový tmel. Vytvrzuje vulkanizací vzdušné vlhkosti, vytváří trvale pevný, elastický spoj, vhodný pro dlouhodobý styk s pitnou vodou - vystaven atest.

Vlastnosti

- Vysokomodulové
- Vysoká přilnavost na sklo
- Po úplném vytvrzení netoxický pro vodní organismy a ryby
- Po vytvrzení přetíratelný
- Po vytvrzení trvale pružné, vysoká elasticita
- Excelentní odolnost vůči slané mořské vodě ve všech barevných odstínech

Použití

Lepení celoskleněných akvárií, terárií, želvárií, skleněných vitrín;
Tmelení skleněných fasád budov, skleněných konstrukcí výstavních ploch apod.;

Tmelení nádrží pro úpravu pitné vody, jímek, zásobních cisteren a nádob na pitnou vodu.

Balení

- Kartaše 280 ml

Barva

- Transparentní
- Černá

Technické údaje

| | | | |
|-------------------|------|------------------|--------------|
| Základ | - | silikon-acetát | |
| Konzistence | - | tixotropní pasta | |
| Hustota | g/ml | 1,04 | |
| Tepelná odolnost | °C | -50 / +180 | po vytvrzení |
| Tepelná odolnost | °C | -15 | při přepravě |
| Aplikační teplota | °C | +5 / +40 | |

DEN BRAVEN
Czech and Slovak a.s.

793 91, Úvalno 353
Česká republika

IČO: 26872072
DIČ: CZ26872072

+420 554 648 200
info@denbraven.cz

www.denbraven.cz

Příloha 3.



Den Braven

| | | | |
|-------------------------------|-------|--------------------------|-------------------------------|
| Rychlost nanášení | g/min | 120 | (při síle 3mm a tlaku 6,3Bar) |
| Doba vytvoření povrch. slupky | min | ≈ 6 | (při 23°C / 55% rel. vlhk.) |
| Úplné vytvrzení | hod | 168 | (při 23°C / 55% rel. vlhk.) |
| Možnost přefírat po vytvrzení | - | ne | |
| Dilatační schopnost | % | ± 25 | |
| Stékavost | mm | < 2 | (dle ISO 7390) |
| Objemové změny | % | < 5 | (dle DIN 52 451) |
| Tažnost | % | 550 | (dle DIN 53 504) |
| Modul 100% | MPa | 0,5 (N/mm ²) | (dle DIN 53 504) |
| Pevnost v tahu | MPa | 2,0 (N/mm ²) | (dle DIN 53 504) |
| Tvrdost dle Shore A (3s) | ° | 23 ± 3 | (dle DIN 53 505) |

Specifikace

Výrobek splňuje požadavky dle § 3 odst. 2, § 7 odst. 3, § 11 Vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 409/2005 Sb. kladeným na výrobky určené pro dlouhodobý styk s pitnou vodou. Na tento výrobek byl Autorizovanou osobou AO 224 vystaven ATEST.

Podklad

Musí být čistý, pevný, bez volných částic prachu, masnot a oleje. Po odmaštění již není možné dotýkat se lepených ploch. Masnota pokožky zásadně snižuje přilnavost.

Omezení

Nedoporučuje se k lepení akvárií nad 1000 litrů, nebo výšce vodního sloupce nad 60 cm. Mimo jiné není vhodné pro použití na PE, PP, teflon, mramor, hliník, měděný a pozinkovaný plech, olovo, ocel s galvanickým povrchem a živичné podklady.

Pokyny

Po odmaštění již není možné se dotýkat stykových ploch. Masnota pokožky může snížit přilnavost. Seřízněte špičku kartuše dle požadavku. Vytlačujte mechanickou nebo pneumatickou pistolí v tenkých pruzích (ne v bodech) na jednu stranu lepeného spoje. Nedoporučuje se k lepení akvárií nad 1000 litrů, nebo výšce vodního sloupce nad 60 cm. Po úplném vytvrzení (168 hod.) je možné spoj plně zatížit.

Příloha 3.



Den Braven

Doporučení

Po vytvrzení lepidla vypláchnout akvárium vodou k odstranění zbytků kyseliny octové.

Čištění

Materiál: Perchlorethylen

Ruce: voda a mýdlo, pasta na ruce / Extra silné čisticí a vlhčené ubrousky

Bezpečnost

Viz «Bezpečnostní list 04.54».

Skladovatelnost

V suchu a neotevřeném obalu 12 měsíců od data výroby, při teplotách od +5 °C do +25 °C.

Aktualizace

Aktualizováno dne: 29.06.2020

Vyhotoveno dne: 29.06.2020

Výrobek je v záruční době konformní se specifikací. Uvedené informace a poskytnuté údaje spočívají na našich vlastních zkušenostech, výzkumu a objektivním testování a předpokládáme, že jsou spolehlivá a přesná. Přesto firma nemůže znát nejrůznější použití, kde a za jakých podmínek bude výrobek aplikován, ani použité metody aplikace, proto neposkytuje za žádných okolností záruku nad rámec uvedených informací, co se týče vhodnosti výrobků pro určitá použití ani na postupy použití. Výše uvedené údaje jsou všeobecné povahy. Každý uživatel je povinen se přesvědčit o vhodnosti použití vlastními zkouškami. Pro další informace prosím kontaktujte naše technické oddělení.

Příloha 4.

Desky

- i Zkontrolujte řádek: 2.10; 5.11;
- ii Informace o projektu

| ? | | Kapitola vstupních parametrů | |
|--|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1.0 Výběr materiálu a nastavení jednotek | | | |
| 1.1 | Jednotky výpočtu | SI Units (N, mm, kW...) | |
| 1.2 | Materiál | Konstrukční ocel EC 3, EN 10025; Fe 360 / Sy=235 MPa | |
| 1.3 | Modul pružnosti v tahu | E | 72479 [MPa] <input type="checkbox"/> |
| 1.4 | Modul pružnosti ve smyku | G | 29753 [MPa] |
| 1.5 | Poissonova konstanta | ν | 0,22 |
| 1.6 | Teplotní roztažnost | γ | 9,00 [m/m/C*e-6] |
| 1.7 | Měrná hmotnost | Ro | 2500,00 [kg/m^3] |
| 1.8 | Mez pevnosti v kluzu | σ_y | 40,00 [MPa] |
| 1.9 | Požadovaný koeficient bezpečnosti | SF | 3,00 |
| 2.0 Kruhové desky | | | |
| 3.0 Kruhové desky s otvorem | | | |
| 4.0 Obdélníkové desky | | | |
| 4.1 Typ zatížení a uložení | | 08. Spojité zatížení konstantní po celé desce, všechny strany vetknuté | |
| 4.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 4.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 4.4 | Kratší strana | b | 1229,000 [mm] |
| 4.5 | Poloměr zatížení | ro | 25,400 [mm] |
| 4.6 | Celková velikost síly | W | 444,82 [N] |
| 4.7 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00597 [MPa] |
| 4.8 | Hmotnost desky | m | 213,08 [kg] |
| 4.9 | Maximální průhyb | y_{max} | 0,75831 [mm] |
| 4.10 | Maximální napětí | σ_{max} | 12,41 [MPa] |
| 4.11 | Koeficient bezpečnosti | SF | 3,22 |
| 5.0 Kruhové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.0 Obdélníkové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.1 Typ uložení a zatížení | | 06. upevněná, není vetknutá, ve středu desky (a/b = 2 ~ <100), (Spojité zatížení konstantní po celé desce) | |
| 6.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 6.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 6.4 | Kratší strana | b | 1229,000 [mm] |
| 6.5 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00597 [MPa] |
| 6.6 | Hmotnost desky | m | 213,08 [kg] |
| 6.7 | Maximální průhyb | y_{max} | -1,52428 [mm] |
| 6.8 | Membránové napětí | σ_d | 2,58 [MPa] |
| 6.9 | Ohybové + membránové napětí | σ_{sum} | 9,72 [MPa] |
| 6.10 | Koeficient bezpečnosti | SF | 4,11 |

08.

06.

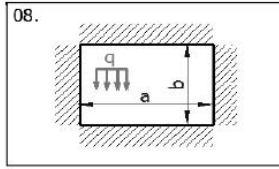
Přesun hodnot z odstavce [4.0]

Příloha 5.

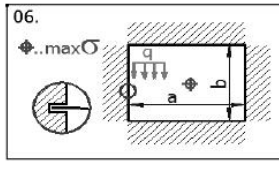
Desky

- i Zkontrolujte řádek: 2.10; 5.11;
- ii Informace o projektu

| ? | | Kapitola vstupních parametrů | |
|--|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1.0 Výběr materiálu a nastavení jednotek | | | |
| 1.1 | Jednotky výpočtu | SI Units (N, mm, kW...) | |
| 1.2 | Materiál | Konstrukční ocel EC 3, EN 10025; Fe 360 / Sy=235 MPa | |
| 1.3 | Modul pružnosti v tahu | E | 72479 [MPa] <input type="checkbox"/> |
| 1.4 | Modul pružnosti ve smyku | G | 29753 [MPa] |
| 1.5 | Poissonova konstanta | ν | 0,22 |
| 1.6 | Teplotní roztažnost | γ | 9,00 [m/m/°C ^{e-6}] |
| 1.7 | Měrná hmotnost | Ro | 2500,00 [kg/m ³] |
| 1.8 | Mez pevnosti v kluzu | σ_y | 40,00 [MPa] |
| 1.9 | Požadovaný koeficient bezpečnosti | SF | 3,00 |
| 2.0 Kruhové desky | | | |
| 3.0 Kruhové desky s otvorem | | | |
| 4.0 Obdélníkové desky | | | |
| 4.1 Typ zatížení a uložení | | 08. Spojité zatížení konstantní po celé desce, všechny strany vetknuté | |
| 4.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 4.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 4.4 | Kratší strana | b | 1250,000 [mm] |
| 4.5 | Poloměr zatížení | ro | 25,400 [mm] |
| 4.6 | Celková velikost síly | W | 444,82 [N] |
| 4.7 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00597 [MPa] |
| 4.8 | Hmotnost desky | m | 216,72 [kg] |
| 4.9 | Maximální průhyb | y _{max} | 0,81148 [mm] |
| 4.10 | Maximální napětí | σ_{max} | 12,84 [MPa] |
| 4.11 | Koeficient bezpečnosti | SF | 3,11 |
| 5.0 Kruhové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.0 Obdélníkové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.1 Typ uložení a zatížení | | 06. upevněná, není vetknutá, ve středu desky (a/b = 2 ~ <100), (Spojité zatížení konstantní po celé desce) | |
| 6.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 6.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 6.4 | Kratší strana | b | 1250,000 [mm] |
| 6.5 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00597 [MPa] |
| 6.6 | Hmotnost desky | m | 216,72 [kg] |
| 6.7 | Maximální průhyb | y _{max} | -1,63117 [mm] |
| 6.8 | Membránové napětí | σ_d | 2,66 [MPa] |
| 6.9 | Ohybové + membránové napětí | σ_{sum} | 10,06 [MPa] |
| 6.10 | Koeficient bezpečnosti | SF | 3,98 |



08.



06.

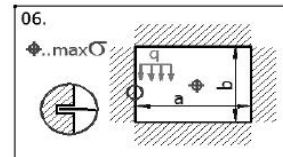
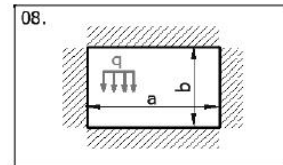
Přesun hodnot z odstavce [4.0]

Příloha 6.

Desky

- i Zkontrolujte řádek: 2.10; 4.11; 5.11; 6.10;
- ii Informace o projektu

| ? | | Kapitola vstupních parametrů | |
|--|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1.0 Výběr materiálu a nastavení jednotek | | | |
| 1.1 | Jednotky výpočtu | SI Units (N, mm, kW...) | |
| 1.2 | Materiál | Konstrukční ocel EC 3, EN 10025; Fe 360 / Sy=235 MPa | |
| 1.3 | Modul pružnosti v tahu | E | 72479 [MPa] <input type="checkbox"/> |
| 1.4 | Modul pružnosti ve smyku | G | 29753 [MPa] |
| 1.5 | Poissonova konstanta | ν | 0,22 |
| 1.6 | Teplotní roztažnost | γ | 9,00 [m/m/°C ^e -6] |
| 1.7 | Měrná hmotnost | Ro | 2500,00 [kg/m ³] |
| 1.8 | Mez pevnosti v kluzu | σ_y | 40,00 [MPa] |
| 1.9 | Požadovaný koeficient bezpečnosti | SF | 3,00 |
| 2.0 Kruhové desky | | | |
| 3.0 Kruhové desky s otvorem | | | |
| 4.0 Obdélníkové desky | | | |
| 4.1 | Typ zatížení a uložení | 08. Spojité zatížení konstantní po celé desce, všechny strany vetknuté | |
| 4.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 4.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 4.4 | Kratší strana | b | 1250,000 [mm] |
| 4.5 | Poloměr zatížení | ro | 25,400 [mm] |
| 4.6 | Celková velikost síly | W | 444,82 [N] |
| 4.7 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00796 [MPa] |
| 4.8 | Hmotnost desky | m | 216,72 [kg] |
| 4.9 | Maximální průhyb | y_{max} | 1,08286 [mm] |
| 4.10 | Maximální napětí | σ_{max} | 17,14 [MPa] |
| 4.11 | Koeficient bezpečnosti | SF | 2,33 |
| 5.0 Kruhové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.0 Obdélníkové desky tenké (s velkým průhybem) | | | |
| 6.1 | Typ uložení a zatížení | 06. upevněná, není vetknutá, ve středu desky ($a/b = 2 \sim <100$), (Spojité zatížení konstantní po celé desce) | |
| 6.2 | Tloušťka desky | t | 19,000 [mm] |
| 6.3 | Delší strana | a | 3650,000 [mm] |
| 6.4 | Kratší strana | b | 1250,000 [mm] |
| 6.5 | Zatížení na jednotku plochy | q | 0,00796 [MPa] |
| 6.6 | Hmotnost desky | m | 216,72 [kg] |
| 6.7 | Maximální průhyb | y_{max} | -2,17666 [mm] |
| 6.8 | Membránové napětí | σ_d | 3,56 [MPa] |
| 6.9 | Ohybové + membránové napětí | σ_{sum} | 13,42 [MPa] |
| 6.10 | Koeficient bezpečnosti | SF | 2,98 |



Přesun hodnot z odstavce [4.0]

Příloha 7.

AGC

Technical Data Sheet - Planibel

01/2023

Příloha 7.

| Constituents | Proportion by mass of element |
|---------------------|-------------------------------|
| Silicon (Si) | 32 % - 35 % |
| Calcium (Ca) | 3,5 % - 10,1 % |
| Sodium (Na) | 7,4 % - 11,9 % |
| Magnesium (Mg) | 0 % - 3,7 % |
| Aluminium (Al) | 0 % - 1,6 % |
| Others ^a | < 5 % |

^a properties other than photometric characteristics shall not be significantly altered by these other components

3.2 MECHANICAL PROPERTIES FOR SODA LIME SILICATE GLASS

- Density (at 18°C): $\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$
- Hardness (Knoop): $\text{HK}_{0,1/20} 6 \text{ GPa}^a$
- Young's Modulus (modulus of Elasticity): $E = 70\,000 \text{ N/mm}^2 (7 \times 10^{10} \text{ Pa})$
- Poisson Ratio: $\mu = 0,2$
- Shear Modulus: $G = E / [2 (1+\nu)] \approx 29\,166 \text{ N/mm}^2$
- Hardness (Mohs): 5-6
- Characteristic bending strength: $f_{g,kk} 45 \text{ N/mm}^2$
Resistance against temperature differential and sudden temperature change 40K^b

^a Knoop Hardness in accordance with ISO 9385

^b Generally accepted value that is influenced by edge quality and glass type

3.3 THERMAL PROPERTIES

- Softening temperature $T_{so}: \approx 725 \text{ }^\circ\text{C}$
- Working temperature $T_w: \approx 1030 \text{ }^\circ\text{C}$
- Fusion temperature $T_f \approx 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ to $1600 \text{ }^\circ\text{C}$
- Linear expansion coefficient: $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ (between 20° and 300°)
- Specific heat capacity: $C_p = 720 \text{ J/(kg.K)}$
- Emissivity of glass without coating:
 - Normal emissivity $\epsilon_n = 0,89$
 - Corrected emissivity $\epsilon = 0,837$

3.4 OPTICAL PROPERTIES

- Refractive index N to visible radiation (380 to 780 nm):
 - air/glass: 0,67
 - glass/air: 1,50 at 589,3 nm

3.5 ELECTRICAL PROPERTIES

- Specific resistance: $5 \cdot 10^7 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ at 1 000 Hz and 25°C
- Dielectric constant: 7,6 at 1 000 Hz and 25°C

Příloha 8.

Technické parametry

PLANIBEL CLEARVISION

| Planibel Clearvision | 3 mm | 4 mm | 5 mm | 6 mm | 8 mm | 10 mm | 12 mm |
|---------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Světelná propustnost % LT | 92 | 92 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| Solární faktor % SF | 91 | 91 | 91 | 90 | 90 | 90 | 89 |
| Index podání barev % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Čírost ² | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

¹ v souladu s CIE 15: 2004
Poznámka: hodnoty LT a SF uvedené v tabulce jsou vypočítány v souladu s EN 410

Možnosti zpracování

| | |
|--------------------|--|
| Bezpečnost | Tepelné tvrzení nebo tepelné zpevnění Vrstvení (PVB nebo EVA) |
| Řezání | Rovně nebo kruhové linie |
| Způsoby opracování | Opracování hran Broušení Vrtání Výřezy |
| Speciální úpravy | Pískování Matování kyselinou Dekorování síťotiskem a smaltování Lakování a nanášení stříbrného povlaku Ohybání |
| Izolační zasklení | Dvojsklo nebo trojsklo |

Planibel Clearvision je k dispozici v široké škále tlouštěk od 3 mm do 12 mm (15 a 19 mm na vyžádání). Další podrobnosti naleznete v Produktovém katalogu AGC na www.yourglass.com.



Sklo Planibel Clearvision získalo stříbrný certifikát Cradle to Cradle Certified™ Silver.



GLASS UNLIMITED

AGC Flat Glass Czech a. s., člen AGC Group
Tel.: +420 417 501 111 – E-mail: czech@eu.agc.com – www.yourglass.com
AGC Glass Europe využívá celosvětovou síť prodejců – adresy naleznete na www.yourglass.com.

CZ 000015

Planibel Clearvision

UŽIJTE SI PRŮZRAČNOSTI ČIRÉHO SKLA
S NÍZKÝM OBSAHEM ŽELEZA



Příloha 8.



Vše, co potřebujete vědět, je obsaženo v samotném názvu. Díky mimořádné světelné prostupnosti s hodnotou 92 % (4 mm) a vynikajícímu podání barev je Planibel Clearvision přirozenou volbou všude tam, kde záleží na křišťálové čistotě a průzračnosti. Nelze se divit, že toto vysoce kvalitní čiré sklo s nízkým obsahem železa stále častěji architekti a návrháři používají pro projekty vyžadující vysokou transparentnost nebo zvýraznění barev. I v případě, že zvolíme provedení o maximální tloušťce skla, jako je tomu u nábytku nebo v případě interiérových designérských řešení (nad 19 mm), udržuje si toto sklo naprosto neutrální zabarvení, což jen dokazuje, o jak čirý produkt se jedná.

Užijte si průzračnosti čírého skla s nízkým obsahem železa

PLANIBEL CLEARVISION

Co je na něm tak výjimečného? | Co to pro vás znamená?

- | | |
|---|---|
| <p>Mimořádná světelná prostupnost dosahující 92 % (4 mm)</p> | <p>– Zvyšší se množství světla vstupujícího do budovy, což se projeví na větší pohodě uživatelů (více informací naleznete níže).</p> <p>– Nabízí jasný výhled.</p> |
| <p>Vysoký index podání barev</p> | <p>– Vynikající kvalita světla uvnitř budovy.</p> <p>– Předměty nebo příroda viděné přes sklo mají jasné a svěží barvy.</p> <p>– V případě, že je zadní strana při interiérových aplikacích opatřena barevným lakem, zobrazuje Planibel Clearvision nezkreslené barvy v takovém odstínu, který skutečně mají.</p> |
| <p>Křišťálově čistá estetika</p> | <p>– Sklo Planibel Clearvision nabízí ušlechtilou hranu pro použití v interiérech (například stoly, dveře, zábradlí...).</p> |
| <p>Vynikající úroveň energetické prostupnosti</p> | <p>– Je možné získat bezplatnou energii ze slunce.</p> |
| <p>Nízká úroveň energetické absorpce</p> | <p>– Optimalizace nákladů a času ve fázi výstavby díky nižší potřebě tepelné zpracovaného skla v izolačních (troj)sklech.</p> |

Věděli jste, že...?

Výhody přirozeného osvětlení budov dokazuje i studie provedená společností David Strong Consulting¹:

- výhled do okolního prostředí a přirozené světlo v kancelářských prostorách citelně snižuje stres mezi zaměstnanci a významně zvyšuje jejich produktivitu;
- přirozené denní světlo v nemocnicích zkracuje průměrnou dobu hospitalizace, umožňuje rychlejší pooperační rehabilitaci a snižuje požadavky na tišení bolesti;
- denní světlo přispívá studentům k dosažení lepších studijních výsledků;
- intenzivnější přirozené denní osvětlení v obchodech významným způsobem zvyšuje tržby;
- v rezidenčních budovách přispívá přirozené světlo k pohodě jejich obyvatel.

¹ Studie provedená pro evropské sdružení výrobců skla Glass for Europe s názvem „The distinctive benefits of glazing, the social and economic contributions of glazing to sustainability in the built environment“. [Významné výhody zasklení a jeho sociální a ekonomické přínosy k udržitelnosti ve výstavbě] David Strong Consulting, 25. července 2012.