



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

TLAKOVÉ NÁDOBY ZATĚŽOVANÉ VNĚJŠÍM TLAKEM

PRESSURE VESSELS LOADED BY EXTERNAL PRESSURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Paták

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Lošák, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: Bc. **Roman Paták**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Procesní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Lošák, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Tlakové nádoby zatěžované vnějším tlakem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma je zaměřeno na tvorbu výpočtového softwaru pro výpočet zatížení tlakových nádob vnějším tlakem. Programování proběhne v jazyce Python. Jelikož v komerčních softwarech není možnost upravovat výpočtový kód, není možné odstranit chyby, které se v softwarech vyskytují a také není možné využívat kód pro optimalizace a automatice návrhu.

Cíle diplomové práce:

Rešerše softwarů umožňují obdobné výpočty.
Rešerše přístupů a porovnání metod pro výpočet dané problematiky v různých normách.
Naprogramovat požadovanou část vybrané normy spolu s vizualizací výsledků.
Demonstrace výpočtového softwaru na zvolené geometrii.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 13445-3 Netopené tlakové nádoby - Část 3: Konstrukce a výpočet. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

ASME BVPC, Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII-Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1. The American Society of Mechanical Engineers, 2019.

ČSN 690010 Tlakové nádoby stabilní - Technická pravidla. Praha: Vydavatelství norem, 1991.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

.....
prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší přístup norem a softwarů k výpočtu tlakových nádob zatěžovaných vnějším tlakem a návrh vlastního softwaru včetně demonstrace na zvolené geometrii. Přístupy norem a softwarů jsou řešeny formou rešerše. V praktické části je popsán vyvinutý software, zvolené technologie pro vývoj a výsledky demonstrace. Demonstrace byla uskutečněna na dvou geometriích a proběhla úspěšně.

Klíčová slova

Tlaková nádoba, vnější tlak, ČSN EN 13445, ASME BPVC VIII, JavaScript, React, Python

ABSTRACT

This final thesis addresses the approach of standards and software for calculation of pressure vessels loaded by external pressure and a design of own calculation software, including a demonstration on chosen geometry. The approaches of standards and software are solved in the form of research. The practical part describes the developed software, selected technologies for development and results of the demonstration. The demonstration was carried out on two geometries and was successful.

Key words

Pressure vessel, external pressure, ČSN EN 13445, ASME BPVC VIII, JavaScript, React, Python

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PATÁK, Roman. Tlakové nádoby zatěžované vnějším tlakem [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132118>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Lošák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Tlakové nádoby zatěžované vnějším tlakem“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Roman Paták

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Pavlu Lošákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Srovnání normalizovaných přístupů výpočtů nádob zatížených vnějším tlakem.....	12
1.1 ČSN EN 13445-3	13
1.2 ASME SEC VIII DIV-1	15
1.3 Hlavní rozdíly	16
2 Srovnání komerčních softwarů	18
2.1 Visual vessel design	18
2.2 Sant' Ambrogio.....	19
2.3 PV Elite	20
2.4 AutoPIPE Vessel.....	21
3 Zvolené technologie pro tvorbu softwaru.....	23
3.1 Vysvětlení vybraných pojmů	23
3.2 Webové rozhraní	23
3.2.1 React.....	24
3.2.2 React-router-Dom.....	25
3.2.3 Axios	25
3.2.4 Firebase	26
3.2.5 React-redux	26
3.2.6 Sass.....	27
3.3 API	27
3.3.1 Flask	27
4 Webová část aplikace	28
4.1 Struktura.....	28
4.2 Komponenty.....	29
4.2.1 Header	29
4.2.2 „Form-input“	30
4.2.3 Custom-button.....	31
4.2.4 Spinner	31
4.2.5 Error-boundary	31
4.3 Stránky	32
4.3.1 Homepage.....	32
4.3.2 Přihlášení.....	32
4.3.3 Válcové skořepiny	33
4.3.4 Kulové skořepiny	34
4.3.5 Dna tlakových nádob.....	35
4.3.6 Výsledky.....	36
5 Výpočetní část aplikace	37
5.1 Struktura.....	37
5.2 Main.py	37
5.3 Calculation_utilities.py	38
5.4 Výpočet válcové skořepiny	38
5.5 Výpočet kulové skořepiny	39
5.6 Výpočet den tlakových nádob.....	39

6	Demonstrace programu na zvolené geometrii	41
6.1	Zadání výpočtu pro ověření navrženého softwaru	41
6.2	Výsledky ze softwaru VVD	42
6.2.1	1. nádoba.....	42
6.2.2	2. nádoba.....	42
6.3	Výsledky z vytvořeného softwaru.....	43
6.3.1	1. nádoba.....	43
6.3.2	2. nádoba.....	45
6.4	Shrnutí výsledků.....	49
	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56
	SEZNAM TABULEK.....	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

Softwary na výpočty tlakových nádob jsou běžnou výbavou dnešních konstruktérů. Hlavním cílem těchto softwarů je ušetřit čas konstruktérovi díky přesnému výsledku, který odpovídá požadované normě a minimalizovat tak chyby. Softwarů pro výpočty existuje mnoho, ale ne všechny jsou pro praktické využití vhodné. Vyskytují se v nich chyby, které nelze bez spolupráce s vydavatelem opravit. Softwary není možné jednoduše upravovat dle potřeb, přidávat nové funkce, či lépe automatizovat průběh výpočtů. K velkému výběru softwarů je také k dispozici rozsáhlý výběr norem s různými vydáními a může být obtížné se v problematice zorientovat. I z těchto důvodů vznikla tato diplomová práce, která má čtyři hlavní cíle.

Prvním z nich je rešerše softwaru umožňující výpočty tlakových nádob zatížených vnějším tlakem. Důvodem je shromáždění informací o vhodných softwarech na jednom místě a tím umožnit čtenářům lepší nadhled při výběru výpočetního softwaru.

Dalším cílem je rešerše přístupů a různých metod pro výpočet této problematiky. V práci jsou srovnány dvě z nejrozšířenějších norem. Jedná se o Evropskou ČSN EN 13445 [3] a Americkou ASME BPVC VIII [24]. Srovnání slouží k ucelení informací a zdůraznění rozdílů, které je dobré znát při návrhu tlakových nádob dle těchto norem. Důraz je opět kladen na postup výpočtu tlakových nádob zatížených vnějším tlakem.

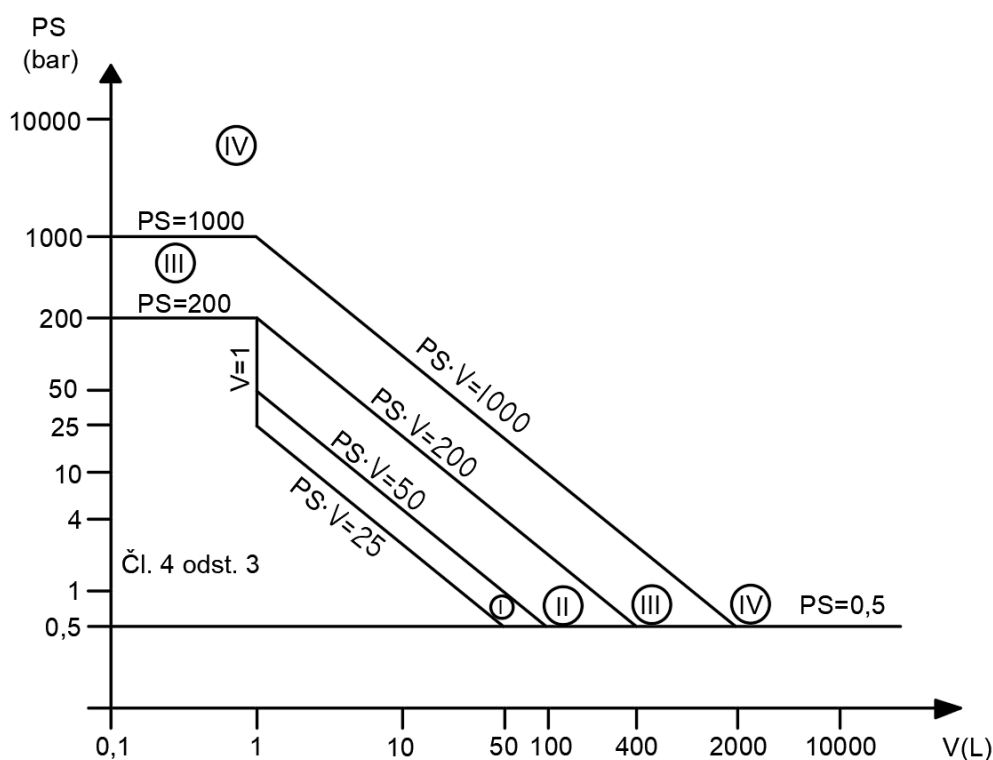
Třetím cílem je naprogramování požadované části vybrané normy společně s vizualizací výsledků. Zvolenou normou je ČSN EN 13445 [3]. Práce se zabývá zatížením vnějším tlakem, tudíž byla zvolena část normy zabývající se těmito výpočty. Vytvoření vlastního softwaru umožní mít kontrolu nad výpočty, okamžitý přístup ke kódu v případě potenciálních chyb a dále otevírá možnosti komercializace. Software je vytvořen formou webové aplikace, čímž se stává v tomto směru téměř unikátní, protože webových aplikací na výpočet tlakových nádob dle normy ČSN EN 13445 [3] mnoho neexistuje. V práci jsou vysvětleny úvahy při vytváření aplikace, její hlavní funkce včetně obrázků a také možnosti směřování vývoje do budoucna.

Poslední cíl se zabývá demonstrací vytvořeného softwaru na zvolené geometrii, aby se ověřila funkčnost vytvořeného programu. Výsledky této demonstrace jsou porovnány s již ověřeným komerčním softwarem.

1 Srovnání normalizovaných přístupů výpočtů nádob zatížených vnějším tlakem

Jedním z hlavních požadavků při výrobě zařízení je jejich spolehlivost a bezpečnost. Aby se tyto veličiny daly klasifikovat a porovnat vznikala během historie v různých oblastech řada předpisů a norem. Konkrétně v Evropské Unii se každý stát řídil vlastními směrnici a výsledkem toho byly rozdílné metody návrhu a kontrol tlakových nádob, čímž se komplikovala výroba a uvádění do provozu těchto zařízení pro odlišné země. Z toho důvodu vznikla 29. května 2002 směrnice č. 97/23/ES [27], která byla implementována do právních předpisů jednotlivých členských států, čímž nahradila jejich národní předpisy. Novější verzí této směrnice je předpis PED 2014/68/EU [2], který ji nahradil 15. května 2014. PED se zabývá se různorodými výrobky v rozsahu od tlakových hrnců, přes kyslíkové nádoby až po velká zařízení sloužící v průmyslových oblastech, které jsou vystaveny působení nejvyššího dovoleného tlaku PS většího než 0,5 bar.

Tlakové zařízení s nižším nejvyšším dovoleným tlakem nespádají do působnosti PED. Tlakové zařízení spadající do působnosti PED jsou dále rozlišovány do jednotlivých kategorií v souladu s přílohou II této směrnice. Existují čtyři kategorie, které jsou seřazeny v závislosti na stoupající nebezpečnosti. Tlakové zařízení jsou do kategorií rozřazeny na základě skupiny pracovních tekutin, nejvyššího dovoleného tlaku PS a objemu zařízení V, případně světlosti DN. Kategorizace dle tlaku PS a objemu V vychází z grafů pro posuzování shody. Na obrázku 1 lze vidět příklad takového grafu. Horní mez pro každou kategorii je oddělena oddělovací čarou. V případech, kdy je zařízení složeno z více částí, se vždy bere nejvyšší dosažená kategorie v jakékoli jeho části.



Obr. 1 Graf pro posuzování shody. [2]

Dle zvolené kategorie se volí postupy pro posuzování shody. Jednotlivé moduly těchto postupů jsou uvedeny ve směrnici v příloze III a ukládají podmínky, které musí výrobce při

konstrukci konkrétní tlakové nádoby splnit, aby mu bylo umožněno umístit výrobek na evropský trh.

Bezpečnost dle PED je ve směrnici řešena v příloze I. Při návrhu tlakových nádob je v obecných ustanoveních dáno, že výrobce musí postupovat v daném pořadí dle uvedených zásad: [2]

- „- v přiměřeně dosažitelné míře vyloučit nebo omezit nebezpečí,“
- „- použít vhodná ochranná opatření proti nebezpečí, které nelze vyloučit,“
- „-v případě potřeby informovat uživatele o zbytkovém nebezpečí a upozornit je na nutnost přijetí vhodných zvláštních opatření ke snížení rizika během instalace nebo užívání.“

Dále je uvedeno, že zařízení musí být navrženo pro jemu určené zatížení a v úvahu je nutno vzít následující činitele: [2]

- „- vnitřní/vnější tlak,“
- „- teplotu okolí a pracovní teplotu,“
- „- statický tlak a hmotnost obsahu za provozních a zkušebních podmínek,“
- „- zatížení dopravou, větrem, zemětřesením,“
- „- reakční síly a momenty vyvozované podporami, upevněním, potrubím apod.,“
- „- korozi a erozi, únavu apod.,“
- „- rozklad nestabilních tekutin.“

A návrh zařízení musí být založen na jedné z metod: [2]

- na výpočtové metodě, kterou je možno doplnit o experimentální metodu
- na experimentální metodě, pokud je součin PS a objemu V menší než 6000 barů/l, případně součin PS a DN je menší než 3000 barů.

Výpočtová metoda se dále dělí na návrh na základě vzorců, na základě analýzy a na základě lomové mechaniky.

Vzhledem k právní závaznosti směrnice při návrhu nebo výrobě směřující na evropský trh, je veřejně dostupná online v mnoha jazycích na právních stránkách EU <https://eur-lex.europa.eu/> [26]. Při splnění podmínek PED je výrobek označen označením CE „Conformité Européenne“, čímž je mu umožněn volný pohyb v rámci trhu zemí Evropského hospodářského prostoru [2]. V následujících kapitolách budou přiblíženy postupy a jejich vysvětlení pro výpočet tlakových nádob zatížených vnějším tlakem.

1.1 ČSN EN 13445-3

Evropská norma vytvořena v roce 2002 organizací CEN za účelem splnění požadavků PED. Je rozdělena na devět částí: [3]

- Část 1: Obecně
- Část 2: Materiály
- Část 3: Konstrukce a výpočet
- Část 4: Výroba
- Část 5: Kontrola a zkoušení
- Část 6: Požadavky pro navrhování a výrobu tlakových nádob a tlakových částí z litiny s kuličkovým grafitem
- CR 13445-7 Netopené tlakové nádoby – Část 7: Návod na používání postupů posouzení shody
- Část 8: Doplnující požadavky na nádoby z hliníku a slitin hliníku
- CEN/TR 13445-9 Netopené tlakové nádoby – Část 9: Konformita řady EN 13445 k ISO 16528

Výpočetním postupem pro tlakové nádoby zatížené vnějším tlakem se zabývá 3. část díl 8. Postup výpočtu je téměř celý založen na pravidlech pro výpočet těchto typů nádob dle bývalého britského standartu BS 5500 [1], nyní PD 5500 [1]. Základním podkladem pro veškeré výpočty je navržení tloušťky stěny komponenty „ea“ konstruktérem a následně ověření, zda je tato tloušťka vyhovující. V případě nedostatečné tloušťky je třeba tloušťku zvýšit a postup opakovat. Volba tloušťky stěny komponenty je tedy na konstruktérovi a není výsledkem výpočtů [1]. Postup je rozdělen na válcové skořepiny, kuželové skořepiny, kulové skořepiny a dna. V následujících částech budou uvedeny vysvětlující komentáře k postupu výpočtu dle normy. Veškeré číslování v kapitole 1.1 odkazuje na číslování v normě ČSN EN 13445 [3].

Válcové skořepiny

Jsou rozděleny na nevyztužené a vyztužené. V úvodu pro nevyztužené válcové skořepiny jsou uvedeny výpočty délky válcové skořepiny. Při určení délky nádoby zakončené kuželem či dnem je v úvodu 8.5.2.1 přičteno 0,4h. Hodnota 0,4 je určena na základě výpočtu nestabilit mnoha geometrií. [1]

Výpočet pokračuje rovnicí Von Mises 8.5.2-6 ve které se kalkuluje s celočíselnou hodnotou n_{cyl} . Rovnice by mohla být nahrazena jednodušší formulací bez n_{cyl} , ale nebyla by tak přesná převážně u nižších hodnot n_{cyl} , proto byla tvůrci normy zvolena tato varianta [1]. Poté se na základě tlaku meze kluzu P_y a teoretického tlaku ztráty elastické stability P_m určí jejich poměr a z grafu 8.5.5 výpočtová dolní mez tlaku při zborcení P_r . Graf je zkonstruován na základě spodních hranic 700 tehdy zdokumentovaných testů, při kterých došlo k selhání funkce nádoby [1]. Ve strmé části křivky se vyskytoval velký rozptyl hodnot, ale hodnoty přímo na křivce byly ověřeny a experimentálně potvrzeny. Následuje již jen podělení bezpečností a porovnání s požadovaným tlakem. V případě malého P_r , je třeba zvýšit tloušťku e_a a postup opakovat. [1]

Následuje postup pro vyztužené válcové skořepiny. Rovnice 1.1 pro výpočet tlaku, při kterém dochází k mezi kluzu v části zborcení mezi výztuhami 8.5.3.4 nabídl největší korelaci s experimentálními výsledky. [1]

$$P_g = \frac{E \cdot e_a \cdot \beta}{R} + \frac{(n^2 - 1)}{R^3 \cdot L_s} \cdot E \cdot I_e \quad (1.1)$$

Rovnice je rozdělena na dvě části. V první části je vypočten přírůstek tlaku pláště nádoby a ve druhé části přírůstek tlaku výztuhy. Při $n=2$ a vynechání první části vznikne vzorec pro těžké výztuhy. Z tohoto důvodu je také v úvodu kapitoly zmíněno, že je jednodušší uvažovat všechny výztuhy jako těžké, protože pak je výpočet mnohem snazší, ale při výpočtu výztuh jako lehkých dosahuje maximální přípustný tlak vyšších hodnot. To umožňuje mít menší požadavky na tlakovou nádobu a je to tedy více ekonomické. Pro teoretický tlak při ztrátě elastické stability P_g musí platit podmínka v rovnici 1.2, nicméně výpočet dále pokračuje, podmínka slouží pouze k ověření výpočtu, aby nemusel konstruktér počítat zbytečně i další část. [1]

$$P \leq \frac{P_g}{S_f \cdot S} \quad (1.2)$$

Závěrečným vzorcem pro zjištění, zda výztuhy vyhovují je výpočet σ_s . Rovnice pro výpočet napětí výztuhy je opět rozdělena na dvě části. V první se jedná o přímé napětí, ve druhé o ohybové napětí zesílené vnějším tlakem. [1]

Rovnice 1.3 pro výpočet těžkých výztuh vychází z rovnice 1.1 s $n = 2$, jak již bylo zmíněno dříve. Dále se pokračuje výpočtem efektivní délky L_e a výpočtem σ_s . Rovnice pro výpočet klopení u výztuh je odvozena z energetických úvah. [1]

$$\sigma_i = E \cdot C \cdot \frac{P_{ys}}{P} > \sigma_{es} \quad (1.3)$$

Kuželové skořepiny

Obsah kapitoly je velmi podobný obsahu pro válcové skořepiny, vzorce jsou pouze upraveny pro skořepiny kuželové. Novinkou je pak kapitola, kde se řeší styk kuželového pláště s válcovým. Pravidla uvedená v této kapitole jsou založena na důkladných analýzách stability provedených pomocí metody konečných prvků. [1]

Kulové skořepiny

Stručný a jednoduchý výpočet, je založen na podobném principu, kterého využívají válcové a kuželové skořepiny. Tedy výpočet dvou teoretických hodnot a porovnání s křivkou experimentálních hodnot. Teoretická hodnota P_m vychází výrazně větší pro stejné e_a než u válcové nádoby díky dvojité křivosti. [1]

Dna tlakových nádob

Počítají se stejně jako kulové skořepiny, nicméně je třeba uvažovat jejich rozdílné tvary, a proto se u každého typu dna nejprve určí maximální poloměr křivosti a až s takto získanou veličinou lze využít vzorce pro kulové skořepiny. [1]

1.2 ASME SEC VIII DIV-1

Historie ASME „American Society of Mechanical Engineers“ sahá až do 19. století, kdy s rozvojem využití parních kotlů vznikla potřeba kontroly a regulace kvůli stoupajícím případům explozí, zranění a ztrát na životech [4]. ASME bylo založeno v roce 1880 a čtyři roky poté vydalo první dokument popisující zkoušení parních kotlů. Nicméně nehody stále pokračovaly a až v roce 1907 byly vydány první pravidla pro tvorbu kotlů státem Massachusetts. Tato skutečnost iniciovala tvorbu jednotného standartu a v roce 1911 byla vytvořena komise ASME pro kotle a tlakové nádoby. Ta vydala první edici ASME kódu v roce 1915, který měl 148 stran. První udělený certifikát ASME následoval ve stejném roce. Jedním z počátečních problémů byla samotná kontrola výrobků, která byla v rukou komisařů třetích stran, a tudíž byla velmi individuální. Proto vznikla národní rada inspektorů kotlů a tlakových nádob. Kód se postupně rozvíjel až do dnešní podoby [4]. Skládá se ze 13 sekcí: [8]

- Sekce I: Pravidla pro konstrukci energetických kotlů
- Sekce II: Materiály
- Sekce III: Pravidla pro konstrukci komponent jaderných zařízení
- Sekce IV: Pravidla pro konstrukci topných kotlů
- Sekce V: Nedestruktivní zkoušení
- Sekce VI: Doporučená pravidla pro údržbu topných kotlů a práci s nimi
- Sekce VII: Doporučená pravidla pro údržbu energetických kotlů
- Sekce VIII: Pravidla pro konstrukci tlakových nádob
- Sekce IX: Kvalifikace pro svařování, pájení a tavení

- Sekce X: Vlákny vyztužené plastové tlakové nádoby
- Sekce XI: Pravidla pro inspekční kontrolu komponent jaderné elektrárny
- Sekce XII: Pravidla pro konstrukci a nepřetržitý servis přepravních nádrží
- Sekce XIII: Pravidla přetlakové kontroly

Netopenými tlakovými nádobami zatíženými vnějším tlakem se zabývá sekce VIII. Samotný výpočet je již na první pohled od ČSN EN 13445 [3] odlišný. Zůstává pouze skutečnost, že výsledkem výpočtu není tloušťka komponenty, ale ověření, zda zvolená tloušťka vyhovuje. V postupu se nevyskytují téměř žádné vzorce [24]. Princip je založen na teorii tenkých stěn [6]. Nejprve se vypočte poměr délky ku průměru nádoby a průměr ku tloušťce, dle těchto hodnot se z grafu nebo tabulky odečte proměnná A, poté se z materiálových grafů odečte proměnná B a dosadí se do vzorce pro výpočet Pa. Pokud je uživatelem zvolený tlak vyšší než výpočtový tlak, je třeba změnit tloušťku a postup opakovat. Tímto způsobem funguje celá sekce na výpočet vnějšího tlaku. Liší se pouze lehkými úpravami vzorce pro výpočet tlaku Pa, které odpovídají zvolené geometrii. [24]

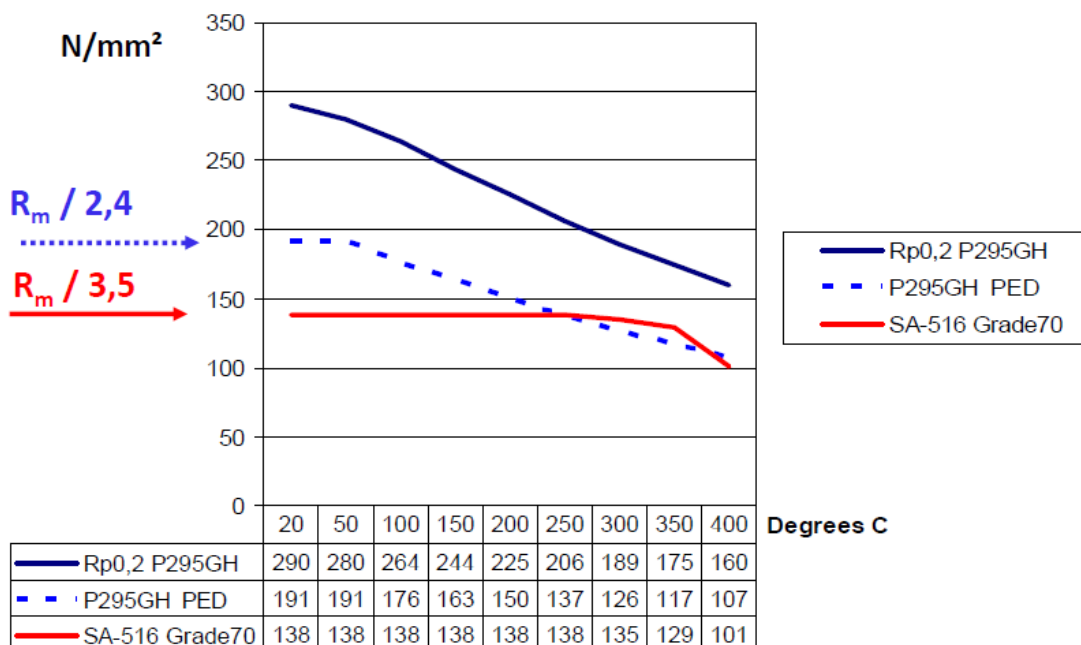
1.3 Hlavní rozdíly

Při obecném srovnání výpočtu dle ASME BPVC VIII [24] proti ČSN EN 13445 [3] je podstatné, že výpočet ASME neodpovídá PED [4]. Využívat kód ASME při návrhu tlakových nádob na evropský trh je možné, ale je potřeba splnit požadavky PED. Hlavními problémy při posuzování jsou: [4]

- rozdílné přípustné materiály, jejich vlastnosti a certifikace,
- způsoby svařovacích postupů a kontrol
- PED požaduje navíc hazardní analýzu
- Odlišné specifikace tlakových zkoušek v případě teplot přibližně¹ vyšších než 200 °C
- PED požaduje dodání manuálu s provozními instrukcemi

Rozdílné přístupy k materiálům vycházejí z přístupu k materiálovým vlastnostem. Kód ASME se více soustředí na mez pevnosti, kdežto PED je zaměřeno na mez kluzu. Porovnání ekvivalentních materiálů lze vidět na obrázku 2.[4]

¹ Konkrétní teplota, při které se výsledky tlakové zkoušky liší se odvíjí od zvoleného materiálu [4]



Obr. 2 Porovnání maximálního přípustného napětí dle ASME (červená) vs PED (modrá) [5].

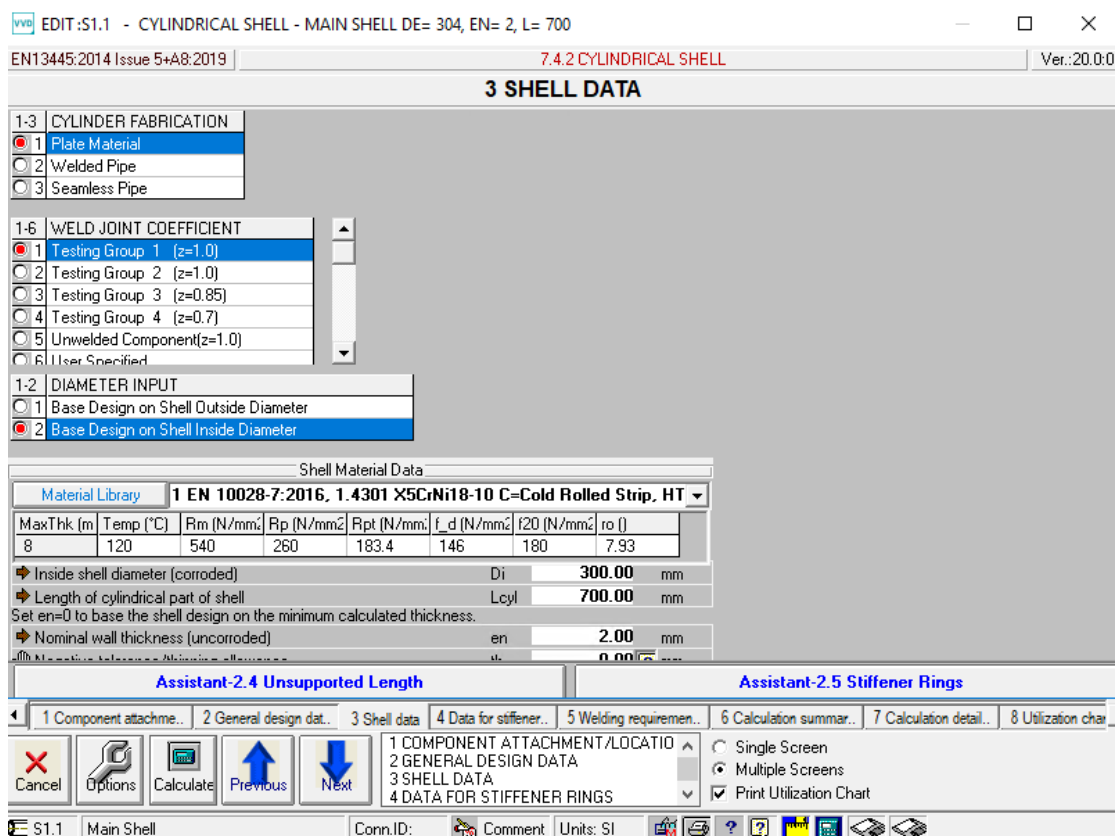
Při návrhu tlakových nádob je samozřejmě kladen velký důraz na ekonomickou část návrhu. Právě díky rozdílu v přístupech k materiálům umožňuje konstruování tlakových nádob dle ČSN EN 13445 [3] navrhovat ve většině případů zařízení s tenčí stěnou, s tím souvisí menší spotřeba materiálu a návrh je v tomto hledisku více ekonomický. Z hlediska kontrol nádob je zase úspornější ASME [9], které umožňuje v případě kvalifikovaných zaměstnanců kontrolu tlakových nádob samotným výrobcem. V případě ASME [9] jsou také obecně kladeny menší nároky na materiály a z toho důvodů jsou obvykle levnější [10]. V konečném měřítku jsou na tom oba způsoby ekonomicky velmi podobně a případné finanční výhody jedné z metod se odvíjí od konkrétních návrhů. [9, 10]

2 Srovnání komerčních softwarů

Softwarů pro výpočet tlakových nádob existuje spousta. Liší se designem, způsoby výpočtů, ale i například chybami. K tomu se váže jejich hlavní problém, a to je oprava chyb. V případě špatného výsledku není možné software jednoduše upravit. Pro srovnání softwarů byly zvoleny následující softwary: Visual vessel design [22], Sant'Ambrogio [35], PV Elite [36] a AutoPIPE Vessel [31]. Při srovnávání je hlavní důraz kladen na funkce, které softwary nabízí a také na kvalitu práce s těmito softwary. Jedním z jejich cílů je ušetřit čas při návrhu zařízení, proto by se v nich mělo dát dobře orientovat a rychle pracovat.

2.1 Visual vessel design

V případě „visual vessel design“, dále jen VVD, je hned první věcí, co uživatele zaujme zastaralý vzhled, který může některé uživatele odradit. Při zapnutí softwaru je na úvod možné si vybrat z několika norem. Pozitivní je možnost výběru i starších vydání norem v případě potřeby. Po zvolení normy a vyplnění základních provozních údajů tlakového zařízení pokračuje program již geometrickými rozměry pro jednotlivé komponenty. Zadávání hodnot není příliš intuitivní a pro dobré soužití s programem musí mít konstruktér důkladně přečtenou normu, ve které výpočet probíhá. Na nevhodně zadané rozměry program upozorní až při kliknutí na tlačítko výpočet a často s nic neříkající chybou zprávou, takže uživatel musí chyby složitě hledat. Jedním z dalších nedostatků je také responzivita okna, do kterého se zadávají výpočty. V případě zmenšení tohoto okna nikde na stranách nevyskočí postranní posuvníky a jednoduše se tak může stát, že uživatel není schopen najít formulář pro zadání hodnot, protože zkratka není vidět. Tuto chybu lze vidět na obrázku č. 3, kde je spodní část polí pro zadávání hodnot skryta a není umožněno posouvat se v okně dolů. Kolečko myši také nefunguje. To je v kombinaci s již zmíněnými chybovými hláškami velmi uživatelsky nepřívětivé a je nutné si na tuto skutečnost dávat pozor.

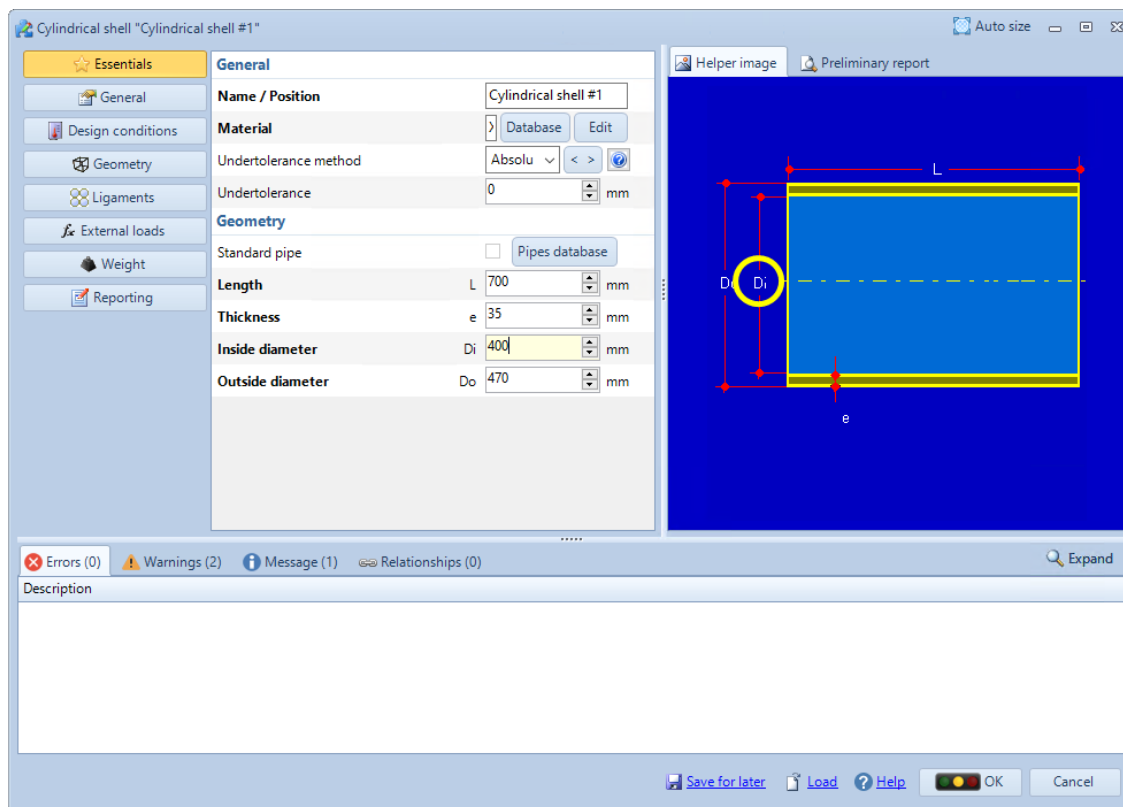


Obr. 3 Okno pro zadávání údajů ze softwaru VVD.

Software nabízí i 3D vizualizaci, ale ta také nepůsobí dobře. Má zcela jiný způsob ovládání, než je u současných modelovacích programů běžné. Uživatel si mezi rotací a posunem volí na horní liště a vše probíhá držením levého tlačítka myši. U ostatních programů se běžně pro rotaci využívá stisknutí kolečka myši, či přidržení kláves CTRL nebo SHIFT. Také je zvolena zvláštní sférická perspektiva, ve které válcové těleso nepůsobí z některých úhlů rovně, ale ohýbá se směrem od uživatele. Na obranu softwaru lze zdůraznit, že se jedná pouze o výpočtový software, a tedy manipulace a vizualizace s tlakovou nádobou není nejdůležitějším prvkem programu. Největší výhodou VVD je závěrečná zpráva o výpočtech. Ta je velmi podrobně rozepsaná a ve vzorcích je zobrazeno i číselné dosazení, takže je velmi snadné si ověřit výsledky. Postup uvedený v závěrečné zprávě zcela odpovídá normě, všechny proměnné jsou korektně označeny a užitečnou funkcí je zobrazení procentuální vytíženosti komponent. Tato skutečnost je jedním z hlavních faktorů při výběru tohoto softwaru ke kontrole praktické části, protože hledání chyb a kontroly výpočtů jsou velmi časově náročné a bez výpočtů s číselným dosazením je v některých případech téměř nemožné ověřit správnost výpočtů. Celkové hodnocení práce s programem je spíše negativní, nicméně přesné výpočty s kvalitně zpracovanou závěrečnou zprávou jsou u výpočetního programu nejdůležitější částí, a proto je VVD i přes zmíněná negativa výborným softwarem pro tento účel.

2.2 Sant' Ambrogio

Software vypadá po vzhledové stránce velmi dobře, působí moderně a ovládání je intuitivní. Konstruktor, který má již zkušenosti z jiných programů, i těch které se nezabývají výpočty tlakových nádob, se rychle zorientuje. Při startu softwaru se nastaví základní parametry nádoby a zvolí se požadovaná norma. Opět je umožněno volit i ze starších vydání jednotlivých norem. Poté uživatel vybere část nádoby, kterou chce vložit do prostoru a při její editaci může upravovat potřebné hodnoty. V případě vkládání na již existující části si uživatel pouze vybere plochu, kde bude komponenta vložena. Zadávání hodnot je jednoduché. Při výběru políčka se zobrazí náčrt se zvýrazněnou kótou viz obrázek 4, takže uživatel přesně vidí potřebné rozměry. V případě nevyhovujících rozměrů zobrazuje program konkrétní chyby a nedostatky okamžitě, takže si je uživatel svých chyb velmi rychle vědom. Okna pro zadávání hodnot jsou responzivní a objekty se v nich přizpůsobují velikosti. V kombinaci s chybovými hláškami by se tedy nemělo stát přehlednutí důležitých údajů.



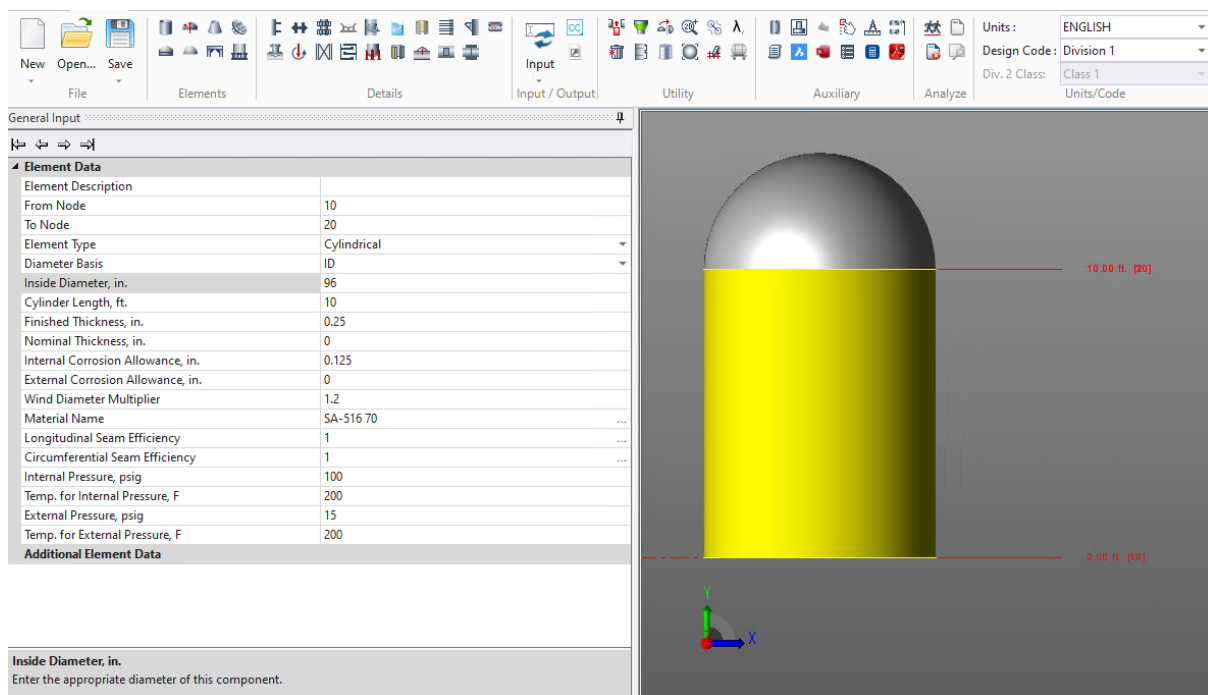
Obr. 4 Okno pro zadávání údajů ze softwaru Sant' Ambrogio.

3D vizualizace je provedena podobně jak u ostatních komerčních softwarů, je jednoduchá a dobře se s ní pracuje. Nevýhodou Sant' Ambrogia je závěrečná zpráva, která by měla být u výpočetního softwaru obsáhlejší. Jsou v ní sice uvedeny důležité informace, ale nic navíc. Ve zprávě jsou zmíněny jednotlivé vzorce a jejich výsledky, ale už se zde nenachází číselné dosazení, a navíc názvy proměnných ne vždy zcela odpovídají normě. Obě tyto skutečnosti jsou pro kontrolu výpočtů velmi vítané, a tudíž se v softwaru špatně hledají případné rozdíly ve výsledcích. Procentuální vytížení komponenty také není zobrazeno. Závěrečnou zprávu je možné exportovat do textového editoru a dále ji upravit dle potřeb. K dispozici je také export do PDF. I přes poměrně velký nedostatek lze celkovou práci s programem hodnotit pozitivně. Na závěr je vhodné zmínit, že Sant' Ambrogio se neprezentuje přímo jako software, do kterého se na základě výkresu vloží a ověří data, ale jako designový software, který umožní právě tento návrh a až poté následné ověření. Proto je kladen takový důraz na design. [7]

2.3 PV Elite

Po vzhledové stránce působí software uživatelsky přívětivě, je zvolen moderní design a po rychlém rozkoukání je možné se pustit do práce. Postup skládání nádoby v prostoru je od obdobných softwarů odlišný. Tlaková nádoba se skládá postupně, stačí pouze klikat na následující komponenty, které uživatel požaduje vložit. V případě potřeby vložení komponenty, mezi již existující, je třeba vkládat pomocí speciálního tlačítka „vložit element“, které umožňuje vkládat před nebo za vybraný prvek. Toto tlačítko, ale není umístěno mezi tlačítka pro vložení ostatních komponent a může být obtížné ho při prvním užívání aplikace nalézt. Tento styl vkládání jednotlivých částí není špatný, ale tím, že se od běžných softwarů odlišuje, tak si na něj uživatel musí zvyknout. Zajímavou a užitečnou funkcí je zvolení si referenční hladiny, tudíž konstruktér při samotném návrhu vidí aktuální výšku nádoby, případně její přesah nad, či pod zvolenou referenční hladinu, čímž si ji může lépe vizuálně zasadit do reálného místa umístění nádoby. Po kliknutí na požadovanou část vytvořené nádoby, se prvek zvýrazní, aby uživatel

viděl, na které komponentě pracuje. V levé části programu je poté možné vložit geometrické a fyzikální údaje a tím komponentu upravovat. Forma zadávání rozměrů není velmi přívětivá. Bohužel jsou v tabulce pouze názvy požadovaných hodnot, ale chybí u nich jakýkoli náskres, případně zvýraznění rozměrů přímo v modelu. Ke všem hodnotám je po rozkliknutí alespoň zobrazen detailnější popis v dolní liště, nicméně ten často pouze jiným způsobem zformuluje to, co již bylo napsáno v názvu veličiny. Zadávání údajů pro válcovou část je zobrazeno na obrázku č.5.



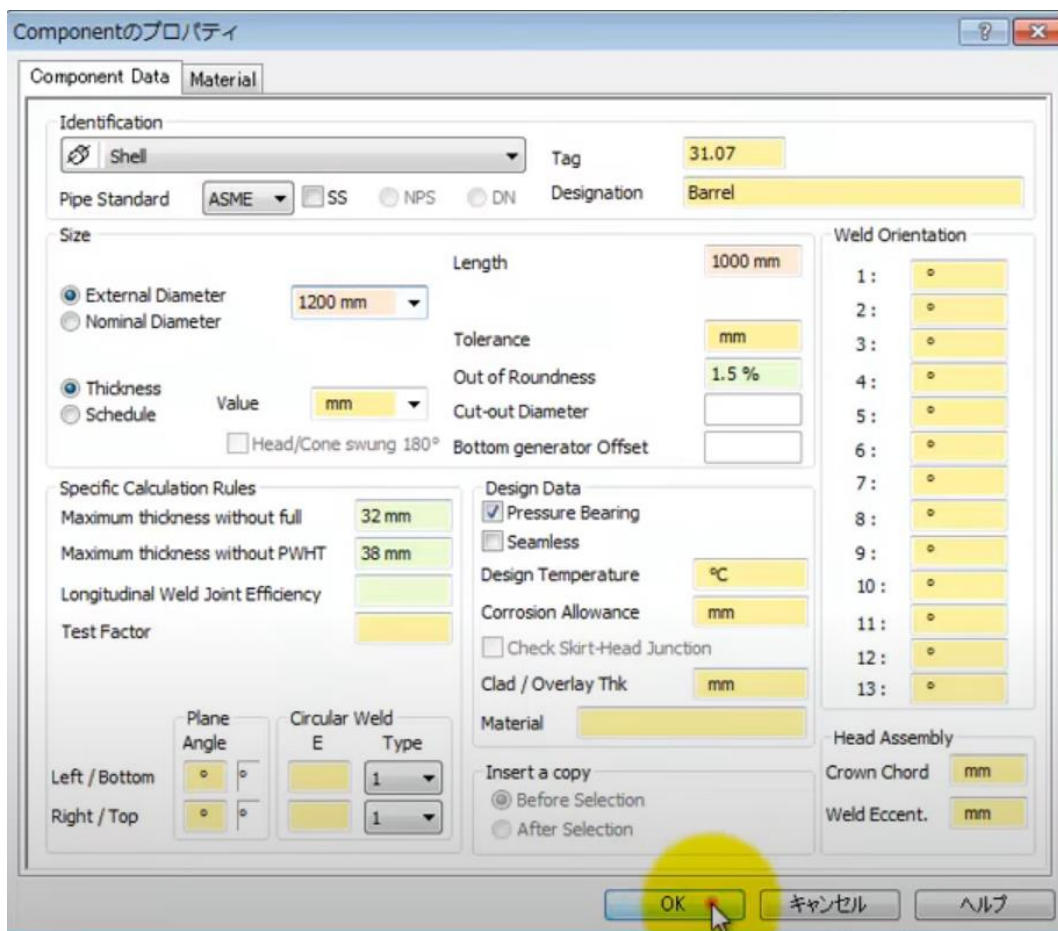
Obr. 5 Zadávání údajů v programu PV Elite.

Poněkud zvláště lze nastavovat druh materiálu. Jeho specifikace i název jsou uvedeny mezi všemi ostatními údaji v levé tabulce, ale nelze jej zde zvolit. Materiál se volí v horní liště mezi tlačítky převážně sloužící k manipulaci 3D objektu. Volba materiálu je sice symbolizována ikonkou s obrázkem databáze, ale umístění není příliš intuitivní. Závěrečný report je zpracován kvalitně. Je rozdělen dle jednotlivých typů výpočtů a dobře se v něm orientuje. Ve vzorcích je číselně dosazeno a u vzorců jsou také odkazy na konkrétní postupy v normě. Názvy proměnných odpovídají normám a u jednotlivých vzorců jsou i obsáhlé vysvětlující poznámky. Procentuální vytížení komponenty chybí. Závěrečnou zprávu je možné přímo z programu exportovat do textového editoru, tabulkového procesoru, či do PDF a zde ji upravit dle potřeb. Na závěr je třeba uvést, že při srovnání softwarů provedeném v roce 2019 došlo u PV Elite k velkým odchylkám ve výpočtu oproti výsledkům v normě ČSN EN 13445 [3], [21].

2.4 AutoPIPE Vessel

Tento software bude hodnocen na rozdíl od ostatních hodnocených softwarů pouze na základě rešerše, protože nebylo možné získat k softwaru přístup. Opět se jedná o moderní software umožňující výpočet dle několika norem včetně starších vydání. Vzhled oken softwaru se odvíjí od vzhledu používaného v konkrétním systému Windows. Software umožňuje komplexní nastavení provozních podmínek měnících se v čase a jejich simulace. Je směřován pro návrh komplexních tlakových nádob a tomu jsou přizpůsobeny i jeho funkce. V levé části jsou přehledně zobrazeny využitě komponenty. Zadávání dat je přehledné a při složitější

geometrii doplněno o nákresy. [30] Na obrázku 6 lze vidět zadávání údajů pro válcovou skořepinu. AutoPIPE Vessel také umožňuje částečně automatizovanou tvorbu výrobních výkresů na základě vytvořených komponentů a jejich export. [31] V závěrečné zprávě se nachází u každého výpočtu použité rovnice. Do rovnic není číselně dosazeno, ale hodnoty veškerých proměnných jsou ve zprávě k dispozici. Vítanou funkcí je kompletní možnost úpravy závěrečné zprávy dle potřeby přímo v aplikaci pomocí textového editoru. Umožněn je rovněž export do tabulkového procesoru, či do PDF. [30]



Obr. 6 Zadávání údajů v programu AutoPIPE Vessel [30].

3 Zvolené technologie pro tvorbu softwaru

Důležitou částí při tvoření vlastního výpočetního softwaru je volba správných technologií. Ty se obzvláště v sektoru informačních technologií mění velmi rychle, a proto volba špatné, případně zastaralé technologie může nepříjemně ovlivnit jak vývoj takového softwaru, tak jeho škálovatelnost do budoucna. Uživatelské prostředí je provedeno formou webové aplikace s výpočetní částí aplikace na samostatném serveru a sice ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je, že se nepodařilo nalézt žádnou podobnou aplikaci vhodnou pro výpočet tlakových nádob, tudíž je v tomto směru velmi malé konkurenční prostředí. Přístup kdykoli a kdekoli díky internetu může umožnit rychlé ověřovací výpočty přímo na pracovišti. Druhým důvodem je již zmíněná škálovatelnost. Webové aplikace lze poměrně snadno rozšířit o další možnosti výpočtů, případně zcela nové funkce a tím velmi pružně reagovat na podmínky na trhu. V případě aktualizací softwaru je také výhodou, že se projeví okamžitě a uživatel nemusí software pokaždé aktualizovat na vlastním počítači.

Kapitola je rozdělena na 3 části. V první části jsou vysvětleny důležité pojmy, které budou v práci dále využívány. Ve zbylých dvou částech jsou popsány hlavní technologie zvolené pro tvorbu samotného programu v případě webového či serverového rozhraní.

3.1 Vysvětlení vybraných pojmů

Html – Velmi jednoduchý programovací jazyk pro tvorbu webových stránek.

CSS – Programovací jazyk sloužící k tvoření kaskádových stylů pro webové aplikace.

Javascript – Programovací jazyk umožňující funkčně či objektově orientované programování. Převážně využívaný v kombinaci s Html a CSS při tvorbě dynamických webových aplikací. [29]

Python – Programovací jazyk vhodný pro široké rozmezí aplikací. Umožňuje jak funkční, tak i objektově orientované programování. [28]

DOM – Document Object Model – Programovací prostředí pro html reprezentující webovou stránku tak, aby mohla být změněna. Například využitím Javascriptu. [20]

HTTP – Protokol sloužící ke komunikaci přes WWW.

WWW – Informační systém, kde jsou jednotlivé informace identifikovány pomocí webových adres.

JSON – Textový formát pocházející z Javascriptu. Formát je vhodný k přeposílání dat.

Framework – Již naprogramovaná struktura, vytvořena pro nějaký konkrétní účel.

API – Application Programming Interface – Rozhraní, které definuje interakce mezi jednotlivými softwary. V tomto konkrétním případě se jedná o část kódu, která přijme požadavek z webového rozhraní, zpracuje ho a odešle odpověď.

3.2 Webové rozhraní

Při volbě technologie pro webové rozhraní připadá v úvahu několik možností:

1. Využití pouze základních jazyků, tedy Javascript, Html a CSS.

Tato možnost se již dnes téměř nevyužívá a pokud ano, tak pouze na velmi jednoduché webové stránky nebo při výuce základů těchto jazyků. Psaní kódu touto formou je při potřebě využití složitějších funkcí velmi neintuitivní a složité.

2. jQuery [11]

Javascriptová knihovna, která vznikla v roce 2006 a rychle nabyla na popularitě. Dbá právě na využití Javascriptu a velmi usnadňuje práci při tvorbě webových aplikací. Největší výhodou je mnohem jednodušší manipulace s DOM díky jednoduchému

výběru jednotlivých elementů pomocí speciálních funkcí a metod psaných v Javascriptu. Momentálně tuto technologii stále využívá až 77 % webových stránek [32]. Nicméně je na úpadku a nově vznikající webové aplikace již spíše preferují novější technologie. [11]

3. Moderní technologie

Momentálně nejvíce využívanými technologiemi jsou React [13], Angular [37] a Vue [38]. Všechny tyto 3 možnosti jsou vhodnou volbou na tvoření komplexnějších webových aplikací. Jsou rychlé, je relativně snadné přidávat nový obsah, mají výbornou dokumentaci a podporu vývojářů. React byl vyvinut vývojáři Facebooku, který je v Reactu vytvořen. Angular je zase tvořen ze strany Googlu a je na něm založeno například Youtube. Nejmladší z nich Vue byl inspirován právě Angularem. Všechny tři technologie spojuje nutnost naučit se specifický syntax. Pouhá znalost Javascriptu, html a CSS pro jejich využívání nestačí. Čas strávený učením se prakticky nových jazyků je následně odměněn rychlým vývojem a komplexností takto vytvořených aplikací. [12]

Z moderních technologií byl vybrán React a to hlavně kvůli přechozím zkušenostem autora s prací s touto technologií. Samotný React je sice velmi silný nástroj na tvoření rozsáhlých aplikací, ale bez pomoci některých dalších knihoven nelze docílit požadovaného výsledku. Mezi hlavní z dalších využitých knihoven patří: Axios [14], React-router-Dom [16], React-Redux [17]. Pro design komponentů byl zvolen Sass [18] a pro ukládání uživatelů byla použita databáze Firebase [15]. V následujících odstavcích budou výše zmíněné technologie popsány blíže.

3.2.1 React

React [13] je Javascriptová knihovna sloužící k tvoření webových aplikací. Kód je velmi úzce spojen s tvorbou aplikací na mobilní zařízení, tudíž lze již hotovou aplikaci transformovat na mobilní s minimální námahou. React funguje na bázi opětovně využitelných komponentů a virtuálního DOM². Celá aplikace se tedy skládá z velkého počtu komponentů, které lze opětovně využívat a u velkých projektů tím razantně snížit velikost aplikace. Také je dobře čitelný a v případě chyb není třeba hledat v složité strukturovaném kódu, ale často stačí pouze opravit chybující komponent. React umožňuje jak objektově orientované programování, tak i funkčně orientované programování, nicméně v posledních letech je čím dál více směřován k funkčně orientovanému programování, ve kterém je každý využitý komponent reprezentován jednou funkcí. React je také typický svou syntaxí. Kód je psán kombinací Javascriptu a html v jednom souboru se speciální příponou „.jsx“. Do stejného souboru je také možné vložit CSS, ale je preferováno mít tento jazyk oddělen. Další výhodou knihovny je, že se kód může psát vždy v nejnovější verzi Javascriptu [29], protože je při inicializaci aplikace automaticky převeden na verzi, kterou akceptují všechny prohlížeče. React byl vytvořen jako „jednostránkový“, V praxi to znamená, že v případě přechodu na jinou stránku nedochází ke skutečnému přechodu na nový soubor, ale pouze se změní vizualizace aktuální stránky na nová data. To sebou nese problém s jednotnou webovou adresou, která se nemění v závislosti na

² Při vykreslování změn nedochází k vykreslení změn do skutečného DOM prohlížeče, ale nejprve si React vypočte nezbytné změny ve virtuálním DOM a až pak se tyto změny vykreslí do DOM prohlížeče, čímž se zvýší výkon aplikace. [25]

otevřené části aplikace, ale zůstává konstantní. Z toho důvodu je potřeba využít další knihovnu s názvem React-router-Dom popsanou níže v práci umožňující jednoduché řešení. [13]

3.2.2 React-router-Dom

Knihovna sloužící k modifikaci a využívání webových adres v Reactu. Jedná se o doplněk, bez kterého se neobejde téměř žádná Reactová aplikace. Implementuje nové komponenty, které umožňují přepínání komponent na základě webové adresy. Základními komponenty jsou „Switch“ a „Route“. Komponent Switch zajišťuje zobrazení první Route komponenty, která odpovídá cestě a v případě shody i její zobrazení. Pokud cesta neodpovídá adrese zadané v prohlížeči, komponenta zkontroluje další Route a tak dále.

Komponent Route se používá právě uvnitř Switche a je v něm webová adresa pod proměnnou „path“ a odkaz na komponent, který má zobrazit v případě shody.

```
<Switch>
  <Route
    exact
    path="/signin"
    render={() =>
      user ? <Redirect to="/" /> : <SignInAndSignUpPage />
    }
  />
  <Route
    path="/valcoveskorepiny"
    component={CylinderCalculationPage}
  />
  <Route path="/kuloveskorepiny" component={SphereCalculationPage} />
  <Route path="/dnaskorepin" component={CapCalculationPage} />
  <Route exact path="/" component={HomePage} />
  <Route component={ErrorOverlay} />
</Switch>
```

Obr. 7 Využití knihovny React-Router-Dom v aplikaci.

Pro ukázkou na obrázku 7 je zvoleno využití přímo z vytvořené aplikace. V případě webové adresy zakončené například „/valcoveskorepiny“ bude prohlížeč postupovat následovně: vstoupí do komponentu Switch a postupně ověří podmínky. Kontroluje zadanou webovou adresu s hodnotou „path“ v každém Route komponentu. Zjistí, že podmínice adresy vyhovuje druhý komponent Route v pořadí. Ten odkazuje na komponent „CylinderCalculationPage“ a pro zadanou webovou adresu se tedy vykreslí stránka pro výpočet válcových skořepin. [16]

3.2.3 Axios

Knihovna nahrazující Javascriptový fetch³. I přesto, že by fetch dokázal zajistit veškeré požadavky, axios k tomu nabídne něco málo navíc. Mezi hlavní výhody patří jednoduchost při řešení http chyb, širší podpora od starších prohlížečů, automatické posílání cookies, či automatická konverze dat z formátu JSON. Jedná se tedy o vylepšený fetch. V aplikaci nejsou všechny z těchto funkcí využity, ale pro případnou expanzi do budoucna je dobré Axios používat od začátku. Při práci s Reactem je instalace knihovny Axios standartní postup. [14]

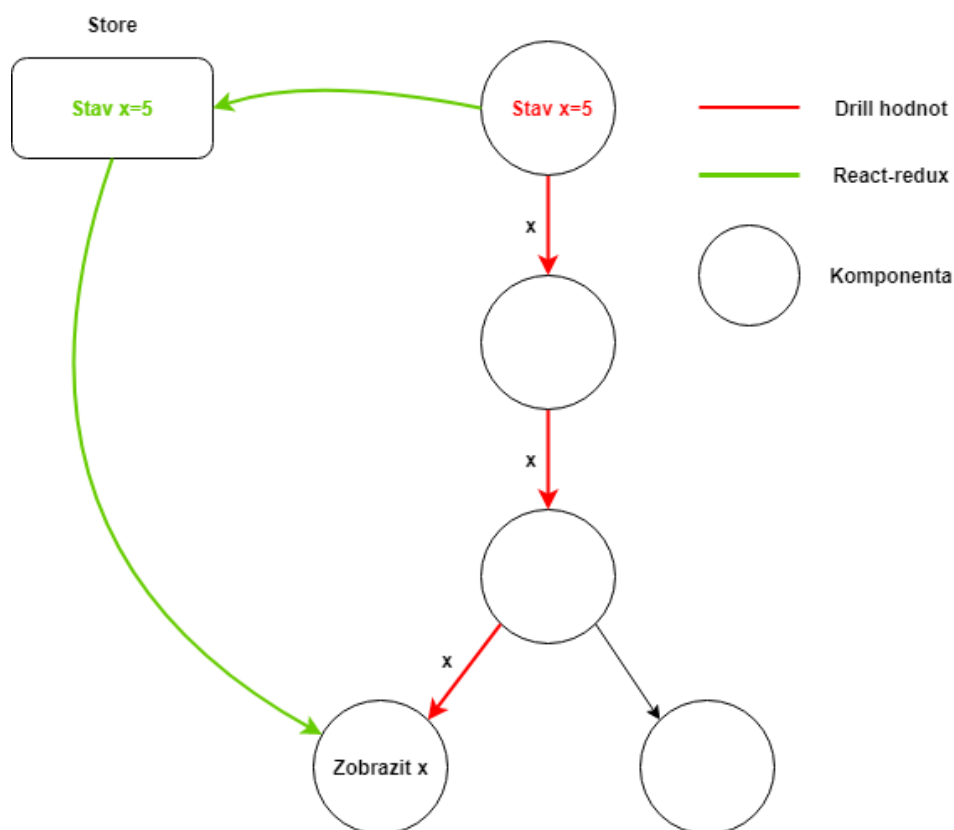
³ Metoda v Javascriptu určena k posílání http požadavků.

3.2.4 Firebase

Databáze od Googlu, která nabízí širokou škálu využití. Mezi hlavní výhody a důvod zvolení Firebase patří snadná a bezpečná autentizace uživatelů přímo pomocí účtů Google a v případě registrace nových uživatelů ve vytvořené aplikaci umí Firebase tyto uživatele také autorizovat a bezpečně uložit. Dále je možné ukládat individuální data, jako mohou být například nedokončené výpočty a při přihlášení by měl uživatel přístup k tomu, kde naposledy skončil. To momentálně není v aplikaci možné, vzhledem k časovým možnostem, ale díky již existující implementaci Firebase je tato možnost předem nachystaná. Google také slibuje škálovatelnost i na milióny uživatelů. [15]

3.2.5 React-redux

Nástavba na React umožňující preciznější práci se stavy⁴. Stavy aplikace se díky knihovně Redux ukládají globálně mimo komponenty do úložiště nazvané „store“ a není je třeba „drillovat“⁵ napříč komponenty. Tím se zvýší výkon aplikace a zároveň se usnadní programování komplexnějších částí aplikace. Při ukládání nových stavů umožňuje Redux také přímé uložení do globálního úložiště z jakéhokoliv komponentu. Základní funkce knihovny React-Redux je zobrazena na obrázku 8.



Obr. 8 Diagram zobrazující hlavní funkce knihovny React-Redux.

⁴ Stavy jsou základní funkcí Reactu. Pod tímto pojmem si lze představit aktuální stav webové aplikace. Obecným stavem celé aplikace může být například jazyk uživatele, zda je přihlášen, ale i jednotlivé komponenty mají své stavy. Například jakýkoli formulář pro zadávání hodnoty má ve svém stavu uloženou právě tuto hodnotu.

⁵ Drillování hodnot jednoduše znamená vkládání proměnných do funkcí nebo komponentů, které tyto proměnné nevyužijí, jen za účelem přenosu dat do další funkce v této funkci, která je již potřebuje. Mnohem lepší řešení je, aby k potřebným proměnným měla přístup pouze funkce, která je přímo využívá. To je hlavní cíl Reduxu.

Redux má také danou přesnou strukturu, jak by měl být psán, čímž je snazší pochopit jeho fungování i pro nově příchozí programátory do projektu. Pro využívání Reduxu je opět potřeba se naučit specifickou syntaxí. Redux je v aplikaci prozatím využíván pouze pro ukládání stavu přihlášení uživatele. Bylo by vhodné ho využít i v případě manipulace s daty v jednotlivých formulářích, kde dochází právě ke zmíněnému drillování. Důvodem, proč není v této části implementován, je seznámení autora s Reduxem a jeho plné pochopení až v pozdější fázi vývoje. Opět se jedná o knihovnu, která je ideální pro velké projekty a zajistí škálovatelnost aplikace do budoucna. [17]

3.2.6 Sass

Nástavba na CSS s několika výhodami. Umožňuje vytvářet proměnné a tím snížit množství kódu a také lze kód větvit na rozdíl od CSS. Syntaxe je totožná s CSS až na zmíněné vylepšení. Velmi jednoduchá knihovna ulehčující práci s CSS. [18]

3.3 API

Pro výpočetní část programu byl zvolen programovací jazyk python [28] ve verzi 3.7. Python sám o sobě nepatří mezi nejrychlejší programovací jazyky, co se výkonu týče, ale tento nedostatek dohání jednoduchou syntaxí a rychlostí psaní kódu. V případě potřeby rychlejšího výpočtu je možné doinstalovat knihovny umožňující kompilaci výpočetního kódu do programovacího jazyka C, který je mnohonásobně rychlejší [33]. To ovšem neznamená, že by Python nebyl vhodný kandidát. Aplikace využívá relativně jednoduchých výpočtů, kde se tato nevýhoda sotva projeví. V případě pythonu jsou na výběr dva webové frameworky: Flask [19] a Django [39]. I přesto, že se liší, tak jsou pro výpočetní část aplikace oba vhodné. Django je komplexnější a nabízí mnohem více funkcí, naopak Flask samotní vývojáři označují jako „micro framework“ a Flask plní jen základní účel a pro více funkcí je třeba doinstalovat požadované doplňky. V případě vytvořené aplikace to plně stačí a z toho důvodu byl zvolen. Žádné další knihovny či frameworky nejsou v kódu využívány. Za úvahu by stálo naprogramovat kód na autentizaci příchozích dat, aby nemohli mít neautorizovaní uživatelé přístup na API a využít tak knihovnu k tomu určenou, ale riziko je prozatím zanedbatelné.

3.3.1 Flask

Jak již bylo zmíněno, jedná se o micro framework. Slovo micro v názvu může být zavádějící. Neznamená to, že by něco důležitého ve Flasku chybělo, anebo že není vhodný i na komplexní aplikace. Dle dokumentace je Flask dobře rozšiřitelný a termín micro vývojáři vysvětlují tím, že Flask je vším, co potřebujete, ale ničím, co nepotřebujete [19]. Používání Flasku uživatele nenutí ho kombinovat s dalšími knihovnami, ale má plnou volbu nad tím, co ve svém kódu využije. Flask je tedy výbornou volbou pro rychlý start u menších projektů a v případě, že se projekty rozrostou do větších rozměrů, tak není překážkou. To je také důvod jeho volby. Využívat Django na pár souborů, kde by více souborů vytvořila iniciace Djanga samotného by bylo zbytečné. [19]

4 Webová část aplikace

Tato kapitola se zabývá konkrétními kroky a myšlenkovými procesy autora při tvorbě uživatelského rozhraní aplikace. Před začátkem psaní kódu bylo nutné ucelit si požadovaný design a potřebné funkce aplikace, jelikož se od toho bude odvíjet celý proces psaní kódu. Nejdříve bude rozebrána struktura souborů a následně již hotové jednotlivé stránky včetně ukázek zvoleného designu.

4.1 Struktura

Struktura byla zvolena na základě běžných postupů při tvorbě aplikací v Reactu [13]. To znamená rozdělení složek na komponenty a jednotlivé stránky⁶, které tyto komponenty následně využívají. Každá stránka má pak svou vlastní složku. V případě potřeby rozšíření aplikace o nové knihovny a s nimi související inicializace lze jednoduše přidat další složky do hlavní hierarchie. Toho bylo využito kvůli přehlednosti několikrát. Nejprve bylo potřeba vytvořit další složku pro uložení obrázků zobrazených na hlavní stránce, následně při autentifikace uživatele, na kterou byl využit zmíněný Firebase [15] a poté při vytváření základní struktury Redux [17]. Celou finální strukturu složek a souborů včetně popisů lze vidět na obrázku číslo 9.

⁶ Stránky jsou v Reactu reprezentovány stejným způsobem jak ostatní komponenty. Rozdíl mezi stránkou a komponentem je pouze v zobrazení dat. Komponent zobrazuje jen nějakou část stránky, například horní lištu, kdežto stránka je tvořena využitím několika menších komponentů. Z programátorského hlediska se jedná a tentýž styl kódu.

```

- `─` src`
- `─` └─` assets`
- `─`   └─` calculation-assets` - Okótované obrázky
- `─`   └─` directory-assets` - Obrázky zobrazené na hlavní stránce
- `─`   └─` math.svg` - Home ikona
- `─` └─` components` - Veškeré komponenty použité v aplikaci
- `─`   └─` calculation-navigator` - Spodní navigační lišta zobrazena ve výpočtech
- `─`   └─` calculation-window` - Složka komponentů využívajících okno pro zobrazení výpočtů
- `─`     └─` └─` cylinder-calculation-components` - Hlavní komponent řešící postup výpočtu válcových nádob
- `─`     └─` └─` cylinder-calculation-setup` - Jednotlivé kroky výpočtu válcových nádob
- `─`     └─` calculation-window.jsx` - Okno, ve kterém jsou zobrazeny výpočty
- `─`     └─` calculation-window.scss` - Sass soubor pro design okna
- `─`   └─` custom-button` - Znovupoužitelné vlastní tlačítko
- `─`   └─` directory` - Komponent renderující dlaždice na hlavní stránce
- `─`   └─` error-boundary` - Stránka zobrazena v případě chyb
- `─`   └─` form-input` - Znovupoužitelný vlastní textový vstup
- `─`   └─` header` - Horní lišta
- `─`   └─` menu-item` - Jednotlivá dlaždice zobrazena na hlavní stránce
- `─`   └─` sign-in` - Formulář pro přihlášení
- `─`   └─` sign-up` - Formulář pro odhlášení
- `─`   └─` spinner` - Načítací animace
- `─`   └─` with-spinner` - Nastavba na spinner umožňující jednoduší využití
- `─` └─` firebase` - Implementace Google Firebase
- `─` └─` pages` - Jednotlivé stránky využití v aplikaci
- `─`   └─` cap-calculation` - Stránka s výpočtem den
- `─`   └─` cylinder-calculation` - Stránka s výpočtem válcových nádob
- `─`   └─` homepage` - Hlavní stránka
- `─`   └─` sign-in-and-sign-up` - Stránka s přihlášením a registrací uživatelů
- `─`   └─` sphere-calculation` - Stránka s výpočtem kulových nádob
- `─` └─` redux` - Složka pro strukturu Reduxu
- `─`   └─` directory` - Redux využitý na hlavní stránce, zobrazující dlaždice
- `─`   └─` user` - Redux využitý pro přihlášení uživatelů
- `─`     └─` root-reducer.js` - Soubor, který umožňuje upravování stavů v Reduxu
- `─`     └─` root-saga.js` - Knihovna, která umožňuje asynchronní upravování stavů v Reduxu
- `─`     └─` store.js` - Soubor, který má na starosti přístup ke stavům v Reduxu
- `─` └─` App.css` - Základní CSS soubor pro definování designu v rámci aplikace
- `─` └─` App.js` - Úvodní komponenta nadřazená všem komponentám, je zde umístěno hlavní Router rozcestí
- `─` └─` App.test.js` - Soubor pro psaní ověřovacích testů
- `─` └─` global.styles.js` - Soubor pro nastavení některých stylů aplikace
- `─` └─` index.css` - Základní CSS soubor pro definování designu v rámci celého okna
- `─` └─` index.js` - Inicializační soubor Reactu
- `─` └─` reportWebVitals.js` - Soubor měřící zátěž prohlížeče
- `─` └─` service-worker.js` - Soubor umožňující stažení aplikace přímo do zařízení
- `─` └─` serviceWorkerRegistration.js` - Soubor, který spouští service-worker.js
- `─` └─` setupTests.js` - Soubor pro psaní ověřovacích testů při manipulaci s DOM

```

Obr. 9 Struktura souborů v Reactu.

4.2 Komponenty

Jedním ze smyslů komponentů je jejich znovu-využitelnost, a to bylo i cílem při tvoření některých z nich. Samozřejmě u komponentů typu „přihlášení“ se znovu-využitelnost spíše nepředpokládá, přihlášení stačí na jednom místě. Pro fungování aplikace jsou potřeba všechny komponenty a jednotlivě se věnovat všem by bylo náročné a neúčelné. Proto zde budou popsány pouze důležité komponenty, které stojí za hlubší úvahou. Jedná se o: custom-button, form-input, header, spinner a error-boundary.

4.2.1 Header

Jak již název napovídá, jedná se o vrchní navigační lištu. Tento komponent je opětovně využit na každé stránce v aplikaci. Lišta má jednoduchý design. V levé straně lišty se zobrazuje logo, které po kliknutí odkazuje na homepage a napravo se objevuje stav přihlášení.

```

11  const Header = ({ currentUser }) => {
12    const dispatch = useDispatch();
13
14    return (
15      <div className="header-container">
16        <Link className="logo-container" to="/">
17          <Logo className="logo" />
18        </Link>
19        <div className="header-options-container">
20          {currentUser ? (
21            <div
22              className="header-option"
23              onClick={() => dispatch(signOutStart())}
24            >
25              ODHLÁSIT SE
26            </div>
27          ) : (
28            <Link className="header-option" to="/signin">
29              PŘIHLÁSIT SE
30            </Link>
31          )}
32        </div>
33      </div>
34    );
35  };

```

Obr. 10 Část kódu horní navigační lišty.

Lišta funguje následovně: Z Reduxu se získá stav „currentUser“, ten se do komponentu vloží na řádku 11 na obrázku 10. Funkce pak vždy vrátí kód na řádcích 15 až 19, který zobrazuje Logo v levé části aplikace. Na řádce 20 je podmínka. Pokud existuje „currentUser“, je zobrazena část za otazníkem, tedy tlačítko „ODHLÁSIT SE“. Pokud neexistuje, je zobrazeno tlačítko „PŘIHLÁSIT SE“. Komponent „Link“, do kterého je vloženo nejprve Logo na řádku 17 a poté „PŘIHLÁSIT SE“ na řádku 29, je další funkcí React-Routeru, která slouží k přesměrování na danou adresu po kliknutí. Navigační lištu lze snadno rozšířit, stačí přidat další Link komponent. Vhodným rozšířením může být vytvoření stránky s kontaktem na autora, či nastavení profilu uživatele.

4.2.2 „Form-input“

Nejvyužívanější komponent v aplikaci. Je využitý ve všech případech, kdy uživatel zadává data a skládá se ze dvou částí. První je klasický vstupní formulář, který je zobrazen vždy. Druhou částí je popisek, který se zobrazí pouze pokud je do komponentu vložen. Komponent je samostatně „před-designovaný“, čímž při jeho znovu-použití odpadá potřeba editace vzhledu, jak by bylo potřeba u klasického vstupního formuláře. Největší výhodnou je detail posunutí a zmenšení popisku při vložení textu. Design komponentu je zobrazen na obrázku 11.

	Vnitřní průměr Di
Vnitřní průměr Di	100

Obr. 11 Nevyplněný Form-input vlevo, vyplněný vpravo.

4.2.3 Custom-button

Tímto komponentem jsou tvořena všechna tlačítka. Jsou vytvořeny 3 základní varianty, které se mění na základě vstupů, které se do komponentu vloží. Existuje varianta s bílým pozadím, černým pozadím a modrým pozadím. Na základě barvy pozadí se mění i barva textu, aby byl dobře čitelný. Varianty mají pouze designový efekt. Důvod vytvoření vlastního tlačítka je stejně jako u Form-inputu uchování stejného stylu tlačítek bez potřeby designování každého tlačítka zvlášť. Defaultní nastavení tlačítka lze vidět na obrázku 12. Text je do každého tlačítka vložen zvlášť.



Obr. 12 Ukázka použití komponenty s textem „DALŠÍ“.

4.2.4 Spinner

Velmi jednoduchý komponent, jehož funkcí je zobrazení otáčejícího se kolečka v případě načítání jiného komponentu, dat, případně celé stránky. Je tedy opakovaně využíván téměř v každé části aplikace. Je tvořen jednoduchou CSS animací. Design je zobrazen na obrázku 13.



Obr. 13 Spinner.

4.2.5 Error-boundary

Komponent, který obaluje celou aplikaci a je zobrazen pouze při vzniku chyby, která aplikaci rozbije. Taková chyba by samozřejmě v ideálním případě neměla vůbec nastat, ale v případě, že ano, tak je tu tento informativní komponent. Zobrazí se také v případě napsání neexistující webové adresy na stejné doméně do vyhledávače v prohlížeči. To lze považovat za jeho hlavní funkci, vzhledem k předpokládané četnosti takových situací. Momentálně se zobrazí i například při zvolení kuželových skořepin v hlavním menu, protože stránka pro tento výpočet není implementována. Jako design komponentu jsou zvoleny dopravní kužely s doprovodným textem, které lze vidět na obrázku 14.



Omlouváme se, tato stránka není k dispozici

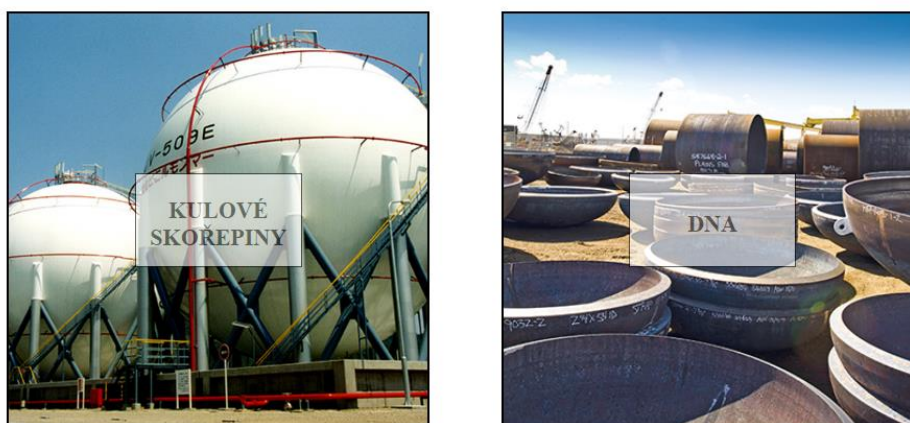
Obr. 14 Chybová hláška.

4.3 Stránky

4.3.1 Homepage

Úvodní stránka aplikace, je rozdělena na 3 části. První částí je již zmíněná horní lišta pro navigaci. Ve středu stránky se nachází čtyři dlaždice s obrázky tlakových nádob, které odkazují přímo na formuláře, do kterých lze zadat potřebné hodnoty pro výpočet. Ve spodní části se nachází stručný popis aplikace. Kód pro hlavní stránku je poměrně jednoduchý a jedinou obtížnější záležitostí bylo vytvoření dlaždic s efektem přibližování, pokud na ně uživatel ukazuje myší. Design hlavní stránky je zobrazen na obrázku 15.

PŘIHLÁSIT SE



Obr. 15 Ukázka části hlavní stránky. Zobrazena pouze pravá strana z důvodu velikosti.

4.3.2 Přihlášení

Po kliknutí na tlačítko „přihlásit se“ na liště se zobrazí stránka pro přihlášení. Zobrazuje dva formuláře viz obrázek 16. První formulář pro přihlášení přes již existující účet, či pomocí Googlu. Druhý formulář při registraci nového účtu pomocí emailu. Po registraci, či přihlášení je uživatel autorizován a následně přesměrovaná na hlavní stránku. Data uživatele jsou uloženy v databázi Firebase [15], hesla jsou samozřejmě uložena v šifrované podobě, aby nemohlo dojít k jejich odcizení. O tuto funkci se stará Firebase také. V současné době nemá přihlášený uživatel žádné výhody oproti nepřihlášeným. Důvodem přidání přihlášení uživatel v této fázi je opět směřování do budoucna, kdy tato funkce bude určitě potřeba a tím, že je na to aplikace již připravena, bude jednodušší na to později navázat. Lze uvažovat například o ukládání nedokončených výpočtů, ukládání vygenerovaných reportů o výpočtech, či sdílení reportů s dalšími uživateli.

Již mám účet
Přihlásit se pomocí hesla a emailu

Email

Heslo

PŘIHLÁSIT SE **GOOGLE PŘIHLÁŠENÍ**

Nemám účet
Registrace pomocí hesla a emailu

Celé jméno

Email

Heslo

Potvrzení hesla

ZAREGISTROVAT

Obr. 16 Ukázka obou formulářů na přihlašovací stránce.

4.3.3 Válcové skořepiny

Vzhledem k velkému množství dat, které je potřeba pro výpočet získat od uživatele je tato část aplikace složitější. Prvotním problémem jsou rozdílné postupy výpočtu a s tím související vstupní hodnoty u vyztužených a nevyztužených nádob. Je třeba zajistit, aby v případě nevyztužené skořepiny výpočet skončil vyplněním základních rozměrů, ale v případě vyztužené mohl dále pokračovat. Proto je třeba hned na úvod zvolit typ skořepiny viz obrázek 17, na jehož základě se interaktivně mění další postup.

VYZTUŽENÁ SKOŘEPINA **NEVYZTUŽENÁ SKOŘEPINA**

DALŠÍ

Obr. 17 Volba typu válcové skořepiny.

Aby bylo prostředí více přátelské pro uživatele, bylo potřeba rozdělit výpočet na více částí. Postup je zobrazen v okně se spodní lištou sloužící k navigaci zpět či dále ve výpočtu. Lišta je vykreslována na základě aktuální stránky, tudíž, když uživatel dojde na poslední stranu, změní se tlačítko „DALŠÍ“ na tlačítko „VÝPOČET“. Data vyplněná v textových polích jsou uložena pomocí stavů. Velkou výzvou se stalo interaktivní zobrazení formulářů pro vyplnění údajů o výztuhách u vyztužených nádob. Bylo potřeba aby měla každá výztuha přístup ke svým datům a tyto data šlo modifikovat. Data se musí dynamicky vytvářet funkcí na základě počtu

výztuh. Není tedy možné každou výztuhu vložit na pevně, jak tomu je třeba u základních informací o tlakové nádobě. Mezi jednotlivými výztuhami se vyskytují nevyztužené délky a každou z nich je tedy třeba definovat. Při počtu výztuh n , je nevyztužených délek vždy $n+1$. Řešení zní snadně, stačí aby funkce vracela vždy $n+1$ nevyztužených délek, nicméně problém nastává při potřebě zachování dat. Pokud bychom řešili funkci prvním způsobem, vždy by při změně počtu výztuh zmizela všechna vyplněná data a vygenerovaly se nové a prázdné formuláře. Funkce je tedy koncipovaná tak, že vždy zkontroluje předchozí počet výztuh a podle rozdílu mezi původní a novým počtem výztuh, rozdíl odebere nebo přidá. Zároveň při každé změně počtu výztuh je vždy třeba zkontrolovat počet nevyztužených délek a udržovat jejich počet o jednu nevyztuženou délku více než počet výztuh. Při vyztužené skořepině je také potřeba reagovat na typ výztuh a klopení. Vstupní textová pole se tedy mění i na základě těchto změn.

Poslední částí je ověření dat. Bez ověření dat by pro uživatele nebylo možné zjistit, z jakého důvodu aplikace nepočítá nebo proč se výsledky výpočtu liší od předpokládaných výsledků. Pro tento účel existuje funkce, která na základě zvoleného typu nádoby a ostatních volitelných možností vyhodnotí, zda jsou vyplněny všechny potřebné údaje a zda si navzájem neodporují. V případě chyby automaticky odkáže uživatele zpět ve výpočtu a upozorní ho, které pole je chybně vyplněno. Celý postup doplňují nákresy s kótami pro přesné definování požadovaných rozměrů, jak lze vidět na obrázku 18.

Vnější tlak P	_____	h'	_____
Provozní teplota t	_____	h''	_____
Jmenovitá tloušťka ea	_____	L_{con} - vpravo	_____
Vnitřní průměr D_i	_____	L_{con} - vlevo	_____
Material X5CrNi18-10 ▾	_____	α - vpravo	_____
L_{cyl}	_____	α - vlevo	_____

ZPĚT

DALŠÍ

Obr. 18 Vstupní formuláře pro základní údaje válcové skořepiny.

4.3.4 Kulové skořepiny

Kulové skořepiny jsou výrazně jednodušší, jelikož pro výpočet stačí jenom pět vstupů, ze kterých se stránka skládá. Aby nedocházelo ke zbytečnému kopírování kódu, je opětovně využita navigační lišta s tím rozdílem, že má pevně nastavený takový stav, aby zobrazovala pouze tlačítko pro výpočet. Zda jsou pole vyplněna, kontroluje podobná funkce jako u válcových skořepin. Ta je mnohem kratší, protože ověřuje pouze pět hodnot. Na obrázku 19 lze vidět formulář pro zadávání dat.

Vnější tlak P

Provozní teplota t

Jmenovitá tloušťka ea

Sřední poloměr R

Materiál: X5CrNi18-10 ▾

VÝPOČET

Obr. 19 Ukázka vstupních formulářů pro kulové skořepiny.

4.3.5 Dna tlakových nádob

Typů den je více, tudíž je v úvodu umožněno uživateli vybrat typ dna. Typ lze kdykoliv opětovně změnit. Dle zvoleného typu se zobrazí potřebné vstupní formuláře, případně doplňující nákresy. Postup výpočtu se u různých den liší odlišným poloměrem křivosti. Lze tedy využít stejný kód pro zobrazení všech typů den. U polokulových a torosférických den dochází tedy pouze k vizuální změně názvu poloměru křivosti R. U den eliptických se počítá s rozměrem De místo poloměru křivosti, a navíc s výškou dna h . V tomto případě se ve stejném okně zobrazí dvě nové textové pole s těmito rozměry. Postup je také doplněn o nákres viz obrázek 20, aby byly zcela jasně definovány rozměry h a De .

POLOKULOVÉ DNO
TOROSFERICKÉ DNO
ELIPTICKÉ DNO

×

Vnější tlak P

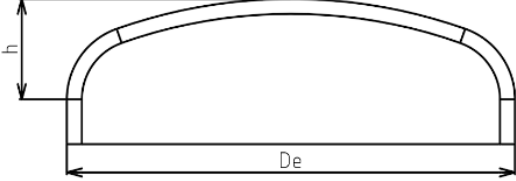
Provozní teplota t

Jmenovitá tloušťka ea

h

De

Materiál: X5CrNi18-10 ▾



Obr. 20 Ukázka vstupních formulářů pro výpočet eliptického dna.

4.3.6 Výsledky

Po vyplnění údajů pro požadovaný výpočet a jejich kontrole je možné kliknout na výpočet. V případě, že jsou údaje zadány v pořádku dojde k odeslání POST⁷ požadavku s těmito hodnotami na API na serveru. Tam proběhne výpočet, data se odešlou zpět a zobrazí se stránka reprezentující výsledky. Stránka je zobrazena jako modální. To znamená, že překrývá stránku přechází a po kliknutí mimo zobrazenou zprávu opětovně zmizí. Pro vizualizaci dat je zobrazeno vytížení ve sloupcových grafech, které využívají knihovnu „React Google Charts“ [34]. Výsledné hodnoty jsou v textové podobě i pod grafem. Obrázek vzhledu zde není uveden, protože je design výsledného reportu několikrát zobrazen v závěrečné části práce.

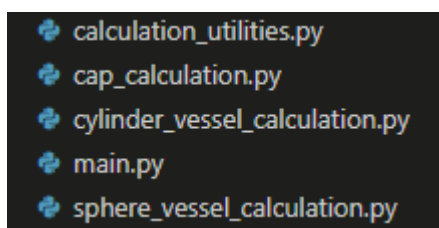
⁷ Dotazovací metoda http protokolu. Slouží k výměně dat například pomocí formátu JSON.

5 Výpočetní část aplikace

Část zodpovědná za veškeré výpočty. Kód této části je podstatně jednodušší oproti webovému rozhraní, protože se z větší části jedná pouze o matematické formulace vycházející z norem. Stejně jako v předchozí kapitole nejprve bude popsána zvolená struktura kódu a poté jednotlivé soubory zodpovědné za výpočet.

5.1 Struktura

Z obrázku 21 si lze povšimnout, že samotná struktura se skládá pouze z pěti souborů narozdíl od téměř sta souborů na webové straně aplikace. Hlavním souborem a zároveň nejmenším je `main.py`, na kterém se vyskytují cesty, odkazující k výpočtům jednotlivých skořepin. Jednotlivé výpočty jsou umístěny podle názvů ve svých vlastních souborech. Aby nedocházelo k využívání opětovného kódu, tak jsou funkce a ostatní data využitelné ve více typech kalkulací umístěny v pomocném souboru „`calculation_utilities.py`“.



Obr. 21 Struktura souborů ve výpočetní části aplikace.

5.2 Main.py

Soubor je téměř celý zobrazen na obrázku 22. Chybí pouze první řádky importující použité funkce či knihovny. Jedná se o základní soubor vytvořený podle dokumentace Flask [19]. Framework se nejprve inicializuje příkazem `app = Flask(__name__)` a pak již stačí umístit potřebné cesty. Ty jsou v tomto případě tři, jedna pro každý typ kalkulace. Jednou z možností by bylo udělat pouze jednu cestu a typ výpočtu rozlišovat až na základě vstupních dat, ale rozdělení je výhodnější z hlediska přehlednosti. Každá z cest přijímá pouze POST požadavek, ostatní typy požadavků by neměly žádné využití. Spuštění aplikace probíhá na samotném konci s portem 5000 v režimu „debug“, který slouží pro testování aplikace, v případě produkčního využití je vhodné režim debug vypnout pro zvýšení výkonu.

```

10 app = Flask(__name__)
11
12
13 @app.route('/cylinder-vessel-calculation', methods=['POST'])
14 def cylinder_vessel_calculation_route():
15     vessel = request.json
16     results = cylinder_vessel_calculation(vessel)
17     return results
18
19
20 @app.route('/sphere-calculation', methods=['POST'])
21 def sphere_vessel_calculation_route():
22     vessel = request.json
23     results = sphere_vessel_calculation(vessel)
24     return results
25
26
27 @app.route('/cap-calculation', methods=['POST'])
28 def cap_calculation_route():
29     vessel = request.json
30     results = cap_calculation(vessel)
31     return results
32
33
34 if __name__ == '__main__':
35     app.run(debug=True, port=5000)
    
```

Obr. 22 Ukázka inicializace pomocí knihovny Flask.

5.3 Calculation_utilities.py

Soubor obsahující veškeré funkce, které jsou využívány napříč celou aplikací, aby se zamezilo duplikaci kódu. Jedná se například o funkce pro výpočet materiálových vlastností, které využívají všechny typy skořepin a jsou využity i u výpočtu přírub, dále funkce pro výpočet tlaku P_r , či funkce pro interpolaci hodnot. V tomto souboru se také vyskytují přeepsané hodnoty z tabulky pod obrázkem 8.5-5 a z tabulek 8.5-4 a 8.5-5. Prozatím se zde také nachází informace o materiálech. Samozřejmě ale není možné takto uchovávat všechny materiály a do budoucna je třeba uvažovat o získání přístupu k již existujícím materiálovým databázím, například jejich zakoupením. Řešení uložení materiálu v tomto souboru je tedy dočasné a z toho důvodu je v souboru k dispozici pouze jeden materiál sloužící pro testování výpočtů.

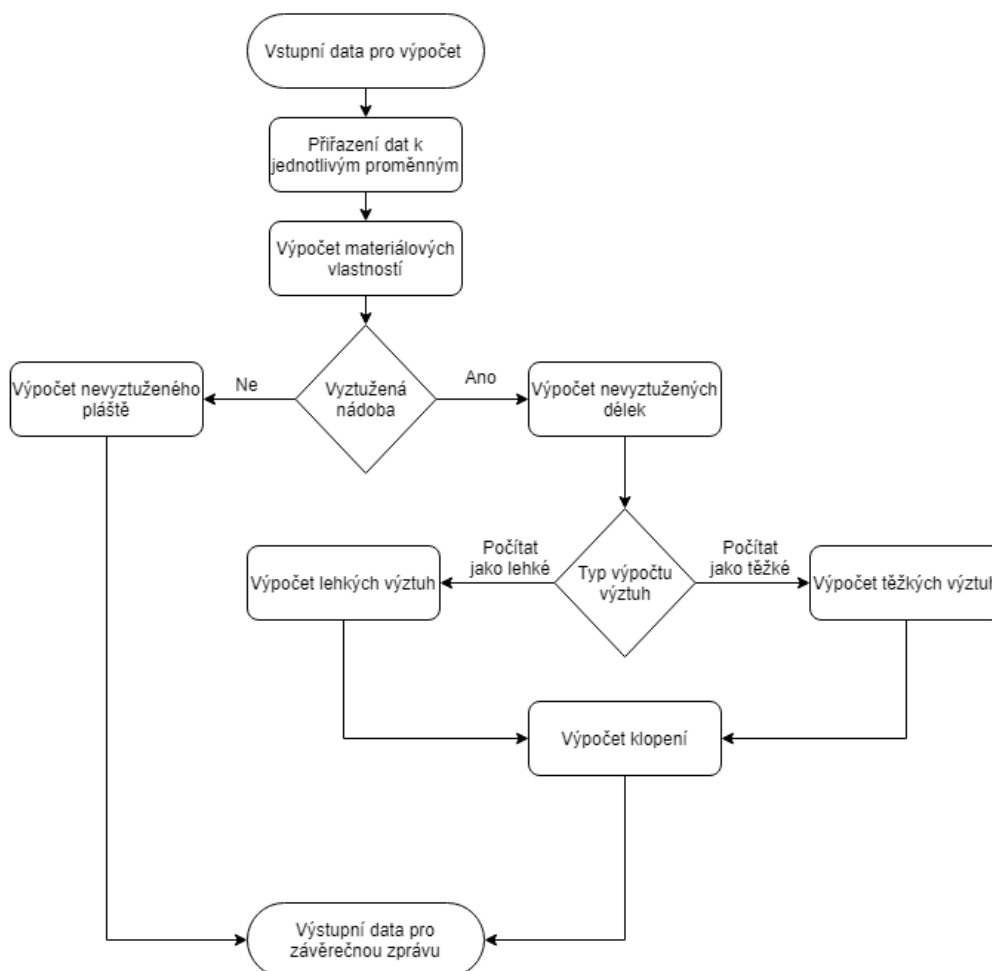
5.4 Výpočet válcové skořepiny

Výpočetní soubor válcových skořepin je poměrně rozsáhlý, ale nevyskytují se v něm žádné funkce složitější na naprogramování. Celý výpočet vychází krok po kroku z norem, tudíž zde nebudou rozepsány jednotlivé kroky, ale pouze obecný postup. Všechny části výpočtu jsou provedeny funkcemi, které na sebe navazují. Prvním krokem je přiřazení přichozích dat k jednotlivým proměnným. V případě čísel je nutné převést typ proměnné z typu „string⁸“ na typ „float⁹“, aby program věděl, že se jedná o čísla. Na základě názvu materiálu a konkrétní teploty se zvolí, případně interpolují požadované materiálové vlastnosti. Následuje rozdělení na nevyztužené, či vyztužené pláště. U nevyztužených směřuje postup na výpočet a porovnání

⁸ Datový typ reprezentující text. Je složený z kombinací znaků.

⁹ Datový typ reprezentující desetinné číslo.

Pr/S se zvoleným tlakem P. V případě vyztužených skořepin výpočet pokračuje ověřením jednotlivých nevyztužených délek. Pokračuje se výpočtem výztuh dle zvoleného typu. Oba výpočty výztuh navazují výpočtem klopení. V případě, že vše proběhlo v pořádku se odesílají potřebné údaje pro závěrečnou zprávu. Pokud někde během výpočtu došlo k vytižení skořepiny přes 100 %, tak se výpočet přeruší a v závěrečné zprávě se zobrazí postup pouze do vzniku chyby. Stručný diagram postupu výpočtu je zobrazen na obrázku 23.



Obr. 23 Diagram postupu při výpočtu válcové skořepiny.

5.5 Výpočet kulové skořepiny

Postup výpočtu kulových skořepin je podobný výpočtu nevyztužených válcových skořepin. V úvodu se opět přiřadí příchozí data k odpovídajícím proměnným a zvolí se materiál a jeho vlastnosti. Výpočet se v tomto případě nijak nerozděluje a pokračuje výpočtem Pr. Rozdílem jsou odlišné rovnice pro výpočet P_y a P_m , na jejichž základě se určí Pr. Pro výpočet Pr se využívá stejná funkce jako u válcových skořepin. Výsledkem je závěrečná zpráva, která se skládá pouze z porovnání Pr/S vůči zvolenému tlaku. Výpočet je ukončen předčasně pouze v případě volby teploty, pro kterou nemá zvolený materiál údaje.

5.6 Výpočet dna tlakových nádob

I přes tři typy dna je výpočet dna nejméně komplikovaný a skládá se pouze z několika řádků, jak lze vidět na obrázku 24. Dna tlakových nádob se dle normy počítají totiž stejným postupem jako skořepiny kulové. Výpočet tedy pouze odkazuje na existující funkci pro výpočet kulových skořepin. Jedinou odlišností je nutnost nejprve rozlišit o jaký typ dna se jedná a dle

toho určit hodnotu poloměru, která je jedním ze vstupů do výpočtu kulových skořepin. K tomu slouží „if“ a „else“ podmínka na řádcích 8 a 10 na obrázku 24. V případě kulových, či torosferických den je poloměr křivosti zadán uživatelem, a tak se jeho hodnota získá z příchozího JSON souboru. V případě eliptických den dojde k jednoduchému výpočtu poloměru na základě výšky a průměru dna. Nejprve se musí převést typ proměnné na desetinné číslo pomocí funkce „float“ viz řádky 11 a 12 a poté lze spočítat poloměr křivosti. Poté se vygeneruje vstup, který umí funkce pro výpočet kulových skořepin akceptovat a s tímto vstupem se funkce spustí na řádce 23. Její výsledek je poté odeslán zpět uživateli na stejném řádce. Závěrečná zpráva je totožná se závěrečnou zprávou kulových skořepin.

```
6 def cap_calculation(vessel):
7     calculationType = vessel['capDetails']['calculationType']
8     if (calculationType == 'sphericCap') or (calculationType == 'torosphericCap'):
9         R = vessel['capDetails']['radius']
10    else:
11        h = float(vessel['capDetails']['h'])
12        De = float(vessel['capDetails']['De'])
13        R = De**2/(4*h)
14    adjusted_vessel_copy = {
15        'sphereDetails': {
16            'material': vessel['capDetails']['material'],
17            'pressure': vessel['capDetails']['pressure'],
18            'radius': R,
19            'temperature': vessel['capDetails']['temperature'],
20            'thickness': vessel['capDetails']['thickness']
21        }
22    }
23    return sphere_vessel_calculation(adjusted_vessel_copy)
```

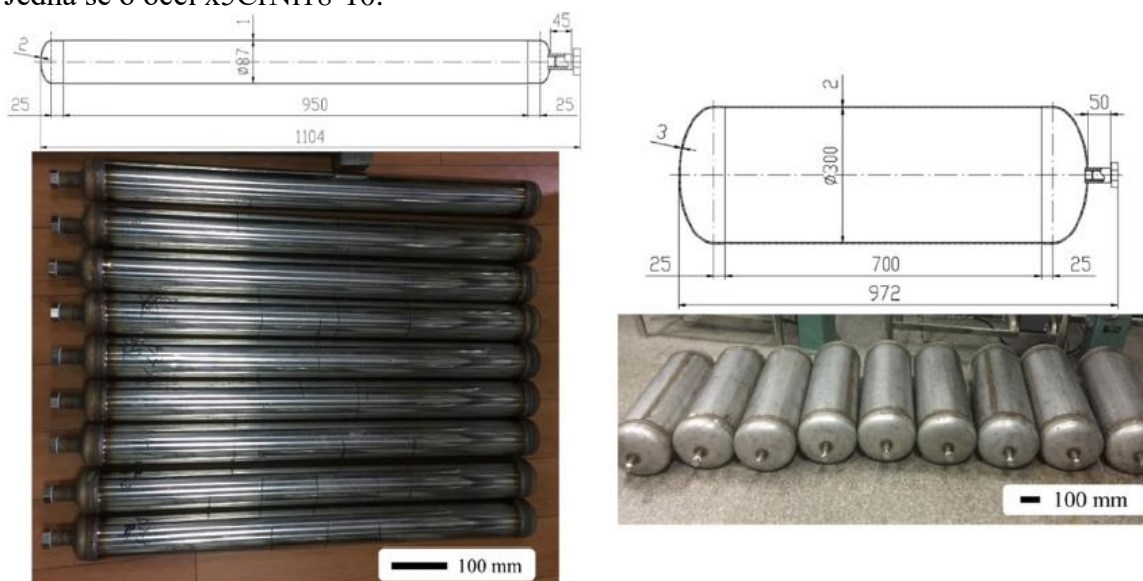
Obr. 24 Kód pro výpočet den tlakových nádob.

6 Demonstrace programu na zvolené geometrii

Ověření správnosti výpočetní části programu je ověřeno porovnáním s již prověřeným výpočetním softwarem. Jako porovnávací software byl zvolen software VVD [22], a to kvůli podrobně zpracované závěrečné zprávě, díky které se dají důkladně prověřit případné odchylky. Pro ověření byla zvolena existující tlaková nádoba, aby demonstrace neprobíhala jen v teoretické rovině. Geometrie byla zvolena z vědecké publikace z databáze Science Direct [23], ve které byly experimentálně testovány dvě tlakové nádoby zatížené vnějším tlakem při různých teplotách.

6.1 Zadání výpočtu pro ověření navrženého softwaru

Pro otestování výpočtů byly využity obě geometrie, tak jak byly popsány v publikaci [23]. Jedná se o válcové nádoby zakončené eliptickými dny. Dna jsou totožná na obou stranách pouze s rozdílem otvoru s trubicí. Rozměry nádob jsou zobrazeny na obrázku 25. Nádoby byly v publikaci [23] testovány při kombinaci různých tlaků od 200kPa do 500kPa a s různými teplotami od 0 do 330°C. Ve všech testovaných kombinacích došlo ke zborcení nádoby. Pro ověřovací výpočet byla zvolena kombinace tlaku a teploty rovna 250kPa a 150°C. Hodnoty jsou zvolené úmyslně, protože dojde k překročení maximálního přípustného tlaku ve válcové části a bude potřeba nádobu vyztužit, čímž se ověří i výpočetní postup pro výztuhy. Testovaným materiálem ve vědeckém článku [23] byla nerezová ocel, ale přesný typ nebyl ve zprávě uveden, proto bude pro výpočet použita nerezová ocel, jejíž parametry jsou již v aplikaci definované. Jedná se o ocel x5CrNi18-10.

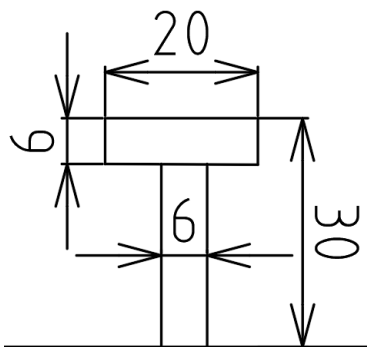


Obr. 25 Ukázka počítaných nádob včetně rozměrů.

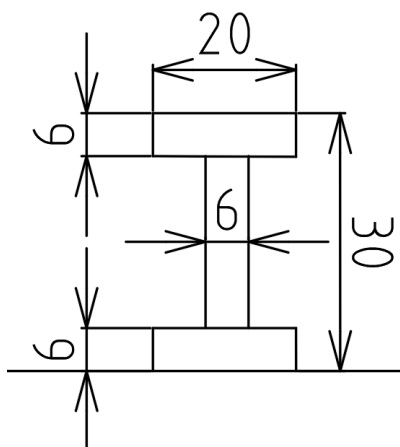
Pro první nádobu je zvolena T výztuha s rozměry uvedenými na obrázku 26. Výztuha bude počítána jako lehká¹⁰. Pro druhou nádobu je zvolena I výztuha s rozměry dle obrázku 27. Ta bude počítána jako těžká¹¹. Výztuhy jsou umístěny přímo doprostřed nádob. Volba typů výztuh a způsobu výpočtu slouží pouze pro demonstraci správnosti výpočtů. Výztuhy v experimentu řešeny nebyly, jedná se o smyšlené rozměry sloužící pouze k ověření správnosti výpočtů.

¹⁰ Lehká výztuha – „obvykle plochý prsteneček (plochý průřez), profil tvaru T, tvaru I nebo úhelníku.“ [3]

¹¹ Těžká výztuha - „obvykle kruhová příruba nebo jiná velká komponenta, ale může to být obzvláště velká běžná výztuha.“ [3] Normou je umožněno výztuhy počítat jako těžké i jako lehké.



Obr. 26 Zvolená T výztuha. Rozměry jsou v milimetrech.



Obr. 27 Zvolená I výztuha. Rozměry jsou v milimetrech.

6.2 Výsledky ze softwaru VVD

6.2.1 První nádoba

Maximální přípustný tlak dle VVD vyšel 0,2144 MPa. Vzhledem k pracovnímu tlaku 0,25 MPa by v tomto případě došlo k vytížení nádoby na 116,5 %. Nabízí se tedy již zmíněné vyztužení. VVD bohužel neumožňuje výpočet nevyztužených délek v případě vyztužené nádoby. Postup, jak toho docílit ve VVD, je vložení více válcových částí vedle sebe a spočítat každou zvlášť. Vzhledem k tomu, že výpočet válcové nádoby byl již proveden na nevyztužené skořepině a opětovně bude proveden ve výpočtu 2. nádoby, tak je tato část výpočtu přeskočena a pokračuje se ověřením výpočtu výztuh.

Maximální přípustné napětí výztuhy vyšlo 113,6 MPa, kdežto vypočtené napětí ve výztuze pouze 2,92 MPa. Výpočet elastické nestability vyšel 0,45 MPa. Povoleno je 3645,38 MPa. Kontrola klopení také vyhovuje podmínkám. Dle podmínky 8.5.3-52 v normě je možná hodnota $d/t = 367,44$, skutečná je pouze 4.

Výpočet eliptického dna vyšel také pozitivně s maximálním možným tlakem 4,3371 MPa a vytížením pouhých 5,7 %.

6.2.2 Druhá nádoba

I u druhé nádoby vyšel maximální přípustný tlak méně než pracovní. Maximální přípustný tlak v tomto případě je 0,2325 MPa. A došlo k vytížení nádoby 107,5 %. Opět je přidáno vyztužení, nyní I profil počítaný jako těžká výztuha. Elastická nestabilita výztuhy vychází 0,45 MPa, maximální přípustná je 16,48 MPa. Napětí vyšlo 14,99 MPa a to s maximálním přípustným napětím 113,6 udává největší dosaženou hodnotu vytížení výztuhy

13,1%. Závěrečná kontrola na klopení vyšla také na bezpečné straně s maximální hodnotou 76,41 dle podmínky 8.5.3-52 v normě oproti skutečné hodnotě 1,67.

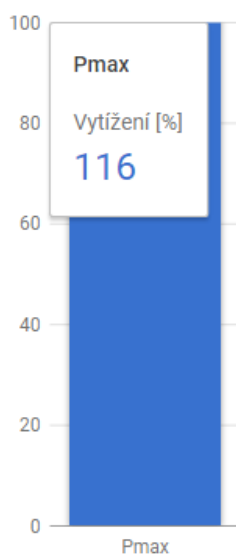
Výpočet eliptického dna umožňuje maximální přípustný tlak 1,2282 MPa a je tedy také vyhovující.

6.3 Výsledky z vytvořeného softwaru

6.3.1 První nádoba

Maximální přípustný tlak ve vytvořeném programu vychází pro válcovou část 0,2153MPa s vytížením 116,13 %. Zaokrouhlené hodnoty zobrazuje závěrečná zpráva z aplikace na obrázku 28. To je oproti VVD rozdíl 900 Pa. Rozdíl je zcela marginální, nicméně je vhodné nalézt příčinu. Mezi-výpočty obou programů vycházejí totožně. Odchylka se vyskytuje pouze ve veličině PrPy. Tato veličina je výsledkem interpolace z tabulky pod obrázkem 8.5-5 v normě. Ve VVD vyšla hodnota 0,1246 oproti 0,125 ve vytvořeném softwaru. Důvod vzniku této odchylky není možné bez přístupu ke zdrojovému kódu VVD přesně dohledat, nicméně se nabízí několik možností vzniku. První možností může být odlišná metoda interpolace, která je u VVD neznámá. Ve vytvořeném softwaru je využita lineární interpolace. Další možností je rozdíl v datech vstupní tabulky, která je uvedena v normě, případně se může jednat o chybu vzniklou zaokrouhlováním.

Celkové vytížení komponenty



Rozměry skořepiny pro zvolené zatížení nevyhovují

Maximální tlak skořepiny

$P_{max} = 0.22 \text{ MPa}$

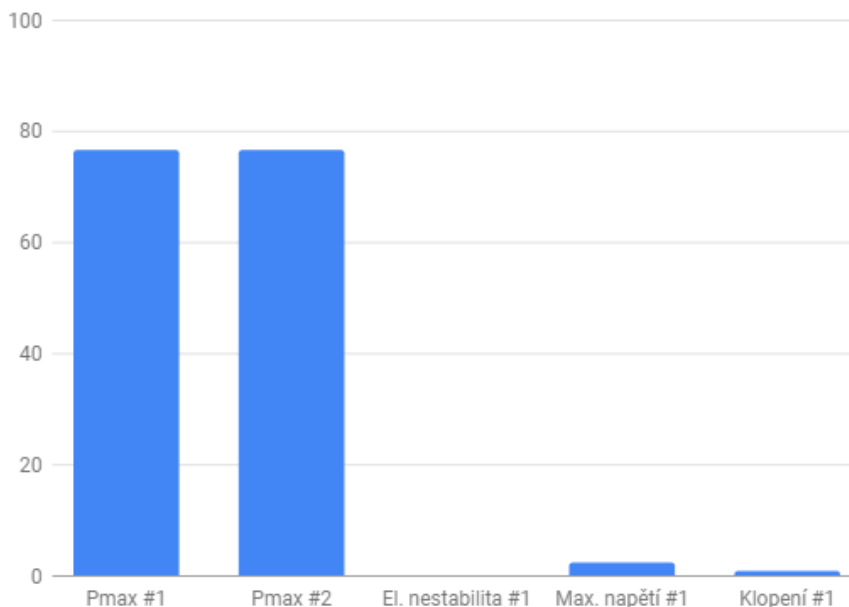
Tlak P = 0.25 MPa

Obr. 28 Závěrečná zpráva nevyztuženého válcového pláště 1 – vizualizace výsledků ve vytvořeném softwaru.

Při výpočtu skořepiny s výztuhami již program automaticky počítá i nevyztužené délky. Výsledky pro vyztuženou nádobu se již nachází na bezpečné straně, maximální vytížení nádoby je 76.8 % viz první dva sloupce v obrázku 29, nicméně VVD výpočet nevyztužené délky neumožňuje, tudíž není s čím porovnat. Co se týče výztuhy dochází k odlišnosti pouze u výpočtu Pys. Pys ve VVD vychází 45,21 MPa, kdežto v programu 45,314. Nicméně vstupy do rovnice jsou totožné, takže jediné vysvětlení je zaokrouhlování. I přes tuto malou odlišnost

vyšly konečné výsledky totožně. Maximální napětí je rovno 113,6 MPa a vypočtené 2,917 MPa. Elastická nestabilita vychází 0,449 MPa. Přípustná hodnota je 3645,38. Možná hodnota $d/t = 367,8719$ a skutečná je 4. Opět lehká odlišnost, kde ve VVD vyšlo 367,44, která je způsobena rozdílnou hodnotou Pys.

Celkové vytížení komponenty



Skořepina je vhodná pro zvolené pracovní podmínky

Vyztužená délka #1 vyhovuje.

$P_{max} = 0.33 \text{ MPa}$

Tlak $P = 0.25 \text{ MPa}$

Vyztužená délka #2 vyhovuje.

$P_{max} = 0.33 \text{ MPa}$

Tlak $P = 0.25 \text{ MPa}$

Elastická nestabilita výztuhy #1 vyhovuje

$P_g = 3645.38 \text{ MPa}$

$PSS_f = 0.45 \text{ MPa}$

Maximální napětí výztuhy #1 vyhovuje.

$Sigs = 2.92 \text{ MPa}$

$\sigma_{maes} = 113.6 \text{ MPa}$

Klopení výztuhy #1 vyhovuje

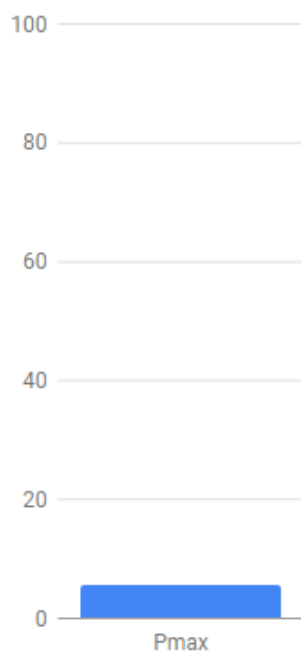
$d/ew = 4.0$

rovnice 8.5.3-52 = 367.87

Obr. 29 Závěrečná zpráva vyztuženého válcového pláště 1.

Výpočet eliptického dna vychází totožně s VVD s maximálním tlakem 4,3372 MPa. Závěrečná zpráva je na obrázku 30.

Celkové vytížení komponenty



Rozměry skořepiny pro zvolené zatížení vyhovují

Maximální tlak skořepiny

$$P_{\max} = 4.34 \text{ MPa}$$

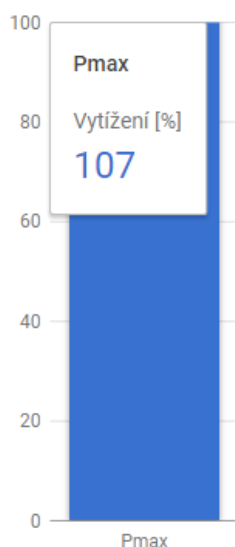
$$\text{Tlak } P = 0.25 \text{ MPa}$$

Obr. 30 Závěrečná zpráva eliptického dna 1.

6.3.2 Druhá nádoba

Výsledek v programu se i při tomto výpočtu lehce liší právě v interpolaci hodnot z grafu 8.5-5 v normě, kde se VVD dopracoval k hodnotě 0,2318, kdežto vytvořený software k hodnotě 0,2324. Tím následně vznikl i zanedbatelný rozdíl ve výsledcích. Maximální povolený tlak vyšel 0,2331 MPa a vytížení nádoby vychází 107,21 %. Zpráva je zobrazena na obrázku 31.

Celkové vytížení komponenty



Rozměry skořepiny pro zvolené zatížení nevyhovují

Maximální tlak skořepiny

$P_{max} = 0.23 \text{ MPa}$

Tlak $P = 0.25 \text{ MPa}$

Obr. 31 Závěrečná zpráva nevyztuženého válcového pláště 2.

Při počítání skořepiny s výztuhami je opět dopočtena i nevyztužená délka. Vytížení je již pouze na 56,6 %. Výsledky nevyztužené délky jsou opět zobrazeny i v závěrečné zprávě programu na obrázku 33. Co se týče výztuhy, vychází maximální elastická nestabilita 20,37 MPa. To je oproti výsledku 16,48 MPa ve VVD velký rozdíl. Nicméně není chyba na straně vytvořené aplikace, ale na straně VVD. Chyba se vyskytla přímo ve výpočtu elastické nestability, kde jsou dosazeny správné hodnoty, ale výsledek je spočítán špatně. Při ručním roznásobení hodnot v rovnici ze závěrečné zprávy softwaru VVD na obrázku 32 vychází výsledek 20,372 MPa, stejně jako v aplikaci. Napětí výztuhy pak u VVD vychází také špatně, protože výpočet navazuje na správně spočítanou nestabilitu. Při ručním dopočtu se zaokrouhlenými hodnotami by mělo vyjít 13,22 MPa, dle aplikace vyšlo 13,21 MPa.

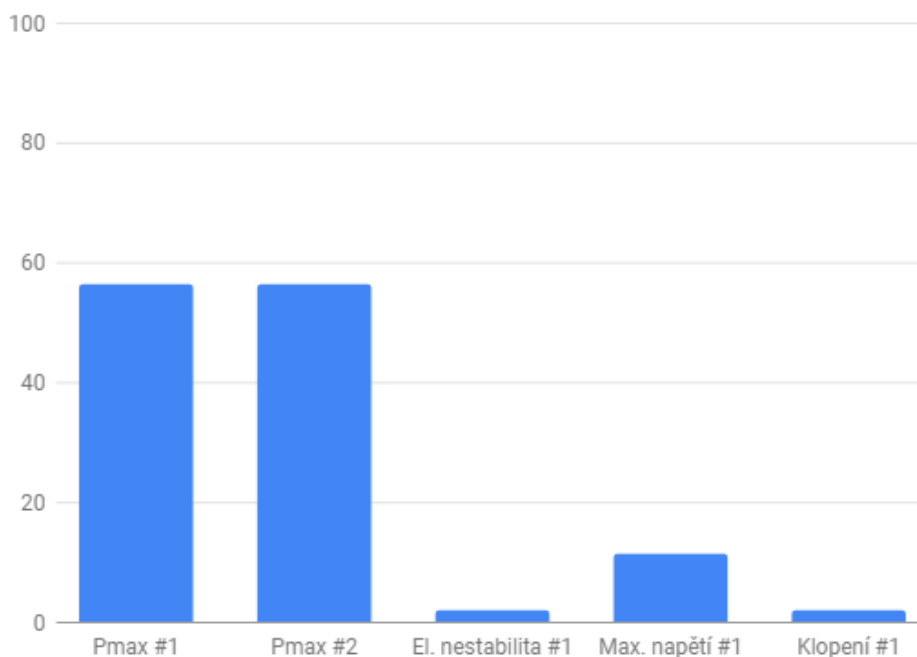
$$pH = \frac{3 * E * I_e}{(R^3 * LH)} \quad (8.5.3-51)$$

$$= \frac{3 * 188940 * 50041.66}{(151^3 * 404.4)} = \underline{\underline{16.48 \text{ MPa}}}$$

Obr. 32 Chybný výpočet rovnice v závěrečné zprávě VVD.

Na výpočtu klopení se tato chyba již neprojeví. U klopení vyšla hodnota dle podmínky 8.5.3-52 = 76.41, hodnota, které výztuha při daném zatížení dosahuje je 1.67. Tyto údaje zcela odpovídají VVD.

Celkové vytížení komponenty



Skověřina je vhodná pro zvolené pracovní podmínky

Výztužená délka #1 vyhovuje.

$$P_{\max} = 0.44 \text{ MPa}$$

$$\text{Tlak } P = 0.25 \text{ MPa}$$

Výztužená délka #2 vyhovuje.

$$P_{\max} = 0.44 \text{ MPa}$$

$$\text{Tlak } P = 0.25 \text{ MPa}$$

Elastická nestabilita výztuhy #1 vyhovuje

$$PH = 20.37 \text{ MPa}$$

$$PSSf = 0.45 \text{ MPa}$$

Maximální napětí výztuhy #1 vyhovuje.

$$\text{SigmaH} = 13.21 \text{ MPa}$$

$$\text{SigmaEs} = 113.6 \text{ MPa}$$

Klopení výztuhy #1 vyhovuje

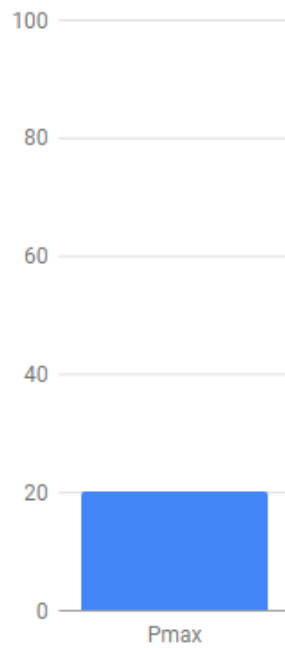
$$d/ew = 1.67$$

$$\text{rovnice 8.5.3-52} = 76.48$$

Obr. 33 Závěrečná zpráva vyztuženého válcového pláště 2.

Výpočet eliptického dna vyšel na bezpečné straně s vytížením 20,4 % a maximálním tlakem 1,2282 MPa, stejně jako u VVD. Grafické zobrazení vytížení lze vidět na obrázku 34.

Celkové vytížení komponenty



Rozměry skořepiny pro zvolené zatížení vyhovují

Maximální tlak skořepiny

$P_{\max} = 1.23 \text{ MPa}$

Tlak $P = 0.25 \text{ MPa}$

Obr. 34 Závěrečná zpráva eliptického dna 2.

6.4 Shrnutí výsledků

Na tlakových nádobách bylo demonstrováno, že software počítá přesně a srovnatelně s komerčním softwarem VVD. Marginální rozdíly vznikly pouze při interpolaci hodnot z grafu 8.5-5 v normě. V ostatních oblastech vycházely výpočty totožně. Nečekanou situací byla chyba programu VVD ve výpočtu elastické nestability výztuhy. Pro přehledné porovnání všech výsledků jsou hodnoty umístěny do tabulek 1 a 2. Každá z tabulek reprezentuje jednu tlakovou nádobu.

Tab. 1 porovnání dat z VVD a vytvořeného softwaru pro tlakovou nádobu č.1.

Tlaková nádoba č. 1	VVD	Vytvořený software
Tlak válcové části	0,25 / 0,2144 MPa	0,25/0,2153 MPa
Elastická nestabilita výztuhy	0,45/3645,38 MPa	0,45/3645,38 MPa
Napětí výztuhy	2,92/113,6 MPa	2,917/113,6 MPa
Klopení výztuhy	4/367,44	4/367,44
Tlak eliptického dna	0,25/4,3371 MPa	0,25/4,3371 MPa

Tab. 2 porovnání dat z VVD a vytvořeného softwaru pro tlakovou nádobu č.2.

Tlaková nádoba č. 2	VVD	Vytvořený software
Tlak válcové části	0,25/0,2325 MPa	0,25/0,2331 MPa
Elastická nestabilita výztuhy	0,45/16,48 MPa	0,45/20,372 MPa
Napětí výztuhy	14,99/113,6 MPa	13,21/113,6 MPa
Klopení výztuhy	1,67/76,41	1,67/76,41
Tlak eliptického dna	0,25/1,2282 MPa	0,25/12282 MPa

ZÁVĚR

Práce se zabývala popisem norem a softwarů pro výpočet tlakových nádob zatížených vnějším tlakem, vytvořením vlastního softwaru a demonstrací jeho funkčnosti a vizualizací výsledků.

V první kapitole byly objasněny hlavní rozdílnosti v přístupech k výpočtům dle ČSN EN 13445 [3] a ASME BPVC VIII [24]. Jedná se jak o odlišné výpočetní postupy, tak odlišné požadavky na výrobce tlakových nádob.

V další části byly popsány softwary pro výpočty tlakových nádob. Byly uvedeny jejich výhody, ale i nedostatky. Softwary se až na výjimky prezentují podobně, designově připomínají běžné inženýrské softwary, ale při hlubším prozkoumání se s nimi pracuje odlišně. VVD nabízí kvalitně zpracovanou závěrečnou zprávu, ale má zastaralý design. PV Elite je moderní program s také kvalitně zpracovanou závěrečnou zprávu, ale číselné výsledky ve srovnání [21] neodpovídaly výsledkům dle normy a u Sant'Ambrogia je nevýhodou závěrečná zpráva, která obsahuje pouze základní informace. AutoPIPE Vessel nabízí spoustu funkcí a prezentuje se jako velmi dobrý software nejen pro výpočty dle norem, ale i pro tvorbu výrobních výkresů, nicméně nebylo možné ho otestovat a byl hodnocen pouze na základě rešerše. Softwary byly porovnány především po stránce uživatelského komfortu a informací, které poskytuje výstupní protokol. Nebylo v možnostech této práce provést podrobné porovnání správnosti výpočtů jednotlivých softwarů.

Další část práce popisuje tvorbu vlastního softwaru a je rozdělena na 3 kapitoly. Cílem práce bylo vytvořit jak výpočetní část aplikace, tak i uživatelské rozhraní, kde bude možné zadávat hodnoty a také prezentovat výsledky. Výpočetní část byla napsána v Pythonu [28] a uživatelské rozhraní formou webové aplikace za použití knihovny React [13] převážně v Javascriptu [29]. Na úvod těchto kapitol jsou rozebrány zvolené informační technologie pro tvorbu softwaru a také zdůvodněna jejich volba. V dalších kapitolách jsou vysvětleny některé postupy při tvoření softwaru, popsány všechny důležité funkce aplikace a důvody konkrétních řešení.

Poslední část diplomové práce demonstruje schopnost programu počítat přesně a tím i konkurovat již existujícím softwarům. Byly otestovány 2 geometrie včetně výtuh a eliptických člen. Téměř ve všech bodech výpočtu byly výsledné hodnoty totožné s výpočtem v softwaru VVD. Postup, kde se vyskytly odlišné výsledky, byl zkontrolován a bylo zjištěno, že se v softwaru VVD nečekaně objevila chyba. Výskyt chyby ve výpočtu potvrzuje výhodu přístupu ke zdrojovému kódu aplikace zmíněnou také v úvodu. Demonstrací softwaru splnila práce poslední cíl a byly tedy splněny veškeré cíle diplomové práce.

Práce je snadno rozšiřitelná a možností směřování je několik. Uvedu pouze některé z hlavních možných směrů. Aplikace umožňuje pouze výpočet pro zatížení vnějším tlakem a prozatím není možné počítat kuželové skořepiny, tudíž vhodnou cestou je tyto výpočty dále rozšířit a implementovat další výpočetní postupy. Aplikace je připravena na registrování uživatelů, ale momentálně nemají žádné výhody. Bylo by tedy dobré se více zaměřit na potenciální uživatele. Další cestou může být upravení aplikace, aby bylo možné ji stáhnout na mobilní zařízení a upravení celkového designu aplikace. Toto byl pouze krátký výčet, věřím, že směrů na rozšíření je mnohem více.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAYLAC, Guy a Danielle KOPLEWICZ, ed. EN 13445 "Unfired pressure vessels" Background to the rules in Part 3 Design [online]. 20.8.2004 , 17-20 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://www.unm.fr/medias/files/107_FICHER_0.pdf
- [2] EUR-Lex [online]. Official Journal of the European Union, 2014 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068&qid=1618775608594>
- [3] Netopené tlakové nádoby - Část 3: Konstrukce a výpočet. EN 13445-3:2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] WADE, Tracy. ASME Boiler and Pressure Vessel Code vs. PED and EN-standards and nuclear safety requirements [online]. 2.3.2016 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://silo.tips/download/asme-boiler-and-pressure-vessel-code-vs-ped-and-en-standards-and-nuclear-safety>
- [5] The Evolution of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code. J. Pressure Vessel Technol. [online]. 7.4.2000, , 5 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1115/1.556180](https://doi.org/10.1115/1.556180)
- [6] PETERS, Daniel T. a Man PHAM. Discussion of the Background of the Design Margins in API 17TR8 HPHT Design Referencing ASME VIII Division 3 [online]. 26.10.2018, , 7 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1115/PVP2018-85131](https://doi.org/10.1115/PVP2018-85131)
- [7] Main features of our Pressure Vessel Software. Sant-ambrogio [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.sant-ambrogio.it/en/pressure-vessel-software/>
- [8] Boiler and Pressure Vessel Code 2021 Complete Set. The American Society of Mechanical Engineers [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-complete-code-boiler-pressure-vessel-code-complete-set>
- [9] COMPARISON OF PRESSURE VESSEL CODES ASME SECTION VIII AND EN13445 [online]. In: , ASME Standards Technology. ASME, 2012, s. 1-48 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://documents.pub/document/stp-pt-0072007.html>
- [10] Comparison of PD 5500, EN 13445, ASME VIII Div 1 & ASME VIII Div 2. CEI [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://info.thinkcei.com/think-tank/pd-5500>
- [11] JQuery [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://jquery.com/>
- [12] Top 7 Best Frontend Development Frameworks and When To Use Them. Hackernoon [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://hackernoon.com/top-7-best-frontend-development-frameworks-and-when-to-use-them-4v3a3wwa>
- [13] React.org [online]. Facebook [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://reactjs.org/>

- [14] KELHINI, Faraz. Axios or fetch(): Which should you use? [online]. In: . [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://blog.logrocket.com/axios-or-fetch-api/>
- [15] Firebase [online]. Google [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://firebase.google.com/>
- [16] REACT ROUTER [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://reactrouter.com/>
- [17] React Redux [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://react-redux.js.org/>
- [18] SASS [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://sass-lang.com/>
- [19] FLASK [online]. Pallets [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>
- [20] MDN Web Docs [online]. Mozilla and individual contributors [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Document_Object_Model/Introduction
- [21] STAŇKOVÁ, L. Porovnání softwarů pro navrhování a kontrolu tlakových nádob. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Lošák, Ph.D.
- [22] Vissual Vessel Design [online]. Soft Engineering Group | HEXAGON PPM [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.intergraph.soften.com.ua/en/products-en/cadworx/visual-vessel-design.html>
- [23] ZHANGA, Zekun, Peizi HUIA, Chaohua GUA, PingXub XUB, Yingzhe WUA a Zhengli HUA. Buckling of cold-stretched cylindrical vessels under external pressure: Experimental and numerical investigation [online]. Hangzhou, China: Zhejiang University, 6.1.2018 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.07.009>
- [24] ASME Boiler and Pressure Vessel Code: VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1. 2013. New York: THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2013. DISCUSSION OF THE BACKGROUND OF THE DESIGN MARGINS IN API 17TR8 HPHT DESIGN REFERENCING ASME VIII DIVISION 3
- [25] HAMEDANI, Mosh. React Virtual DOM Explained in Simple English. Programming with Mosh [online]. 3.12.2018 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://programmingwithmosh.com/react/react-virtual-dom-explained/>
- [26] EUR-Lex [online]. Official Journal of the European Union, 2014 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/>
- [27] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 97/23/ES ze dne 29. května 1997 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se tlakových zařízení [online]. Evropský parlament; Rada Evropské unie, 1997 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31997L0023>

- [28] Python.org [online]. Python Software Foundation, 2001 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
- [29] JavaScript [online]. Pluralsight, 2016 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.javascript.com/>
- [30] 伊藤忠テクノソリューションズ(CTC). AutoPIPE Vessel 横置き圧力容器サンプル. YouTube [online]. 27.2.2015 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5lm4GhfEerY>
- [31] Bentley: Konstrukční software pro tlakové nádoby [online]. BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.bentley.com/cs/products/product-line/pipe-stress-and-vessel-analysis-software/autopipe-vessel>
- [32] Builtwith: jQuery Usage Statistics [online]. BuiltWith® [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://trends.builtwith.com/javascript/jquery>
- [33] XIE, Peter. How Slow is Python Compared to C. Medium [online]. 13.6.2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://medium.com/codex/how-slow-is-python-compared-to-c-3795071ce82a>
- [34] React Google Charts [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://react-google-charts.com/>
- [35] Sant-Ambrogio [online]. Sant'Ambrogio Servizi Industrial [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.sant-ambrogio.it/>
- [36] Hexagonppm: PV Elite [online]. Hexagon AB [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://hexagonppm.com/offerings/products/pv-elite>
- [37] Angular: The modern web developer's platform [online]. Google, 2010 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://angular.io/>
- [38] Vue.js: The Progressive JavaScript Framework [online]. 2014 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://vuejs.org/>
- [39] Django: Django makes it easier to build better Web apps more quickly and with less code. [online]. Django Software Foundation, 2005 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.djangoproject.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
σ_S	Maximální napětí v lehké výztuze	Pa
σ_{es}	Dovolené elastické mezní hodnoty pro skořepinu	Pa
σ_i	Napětí při ztrátě stability klopením výztuhy	Pa
3D	Trojrozměrný	[-]
A	Hodnota získaná z materiálových grafů v normě ASME BPVC VIII	[-]
API	Application Programming Interface	[-]
ASME	American Society of Mechanical Engineers	[-]
B	Hodnota získaná z materiálových grafů v normě ASME BPVC VIII	[-]
BVPC	Boiler and Pressure Vessel Code	[-]
C	Součinitel použitý při výpočtu klopení výztuhy	[-]
CE	Conformité Européenne	[-]
CEN	European Committee for Standardization	[-]
CSS	Cascading Style Sheets	[-]
ČSN	Česká technická norma	[-]
d	Radiální výška výztuhy mezi pásnicemi	[-]
DN	Diameter Nominal	m
DOM	The Document Object Model	[-]
E	Youngův modul pružnosti	Pa
ea	Tloušťka stěny	m
EN	European Standard	[-]
EU	Evropská unie	[-]
h	Výška eliptického dna	m
Html	Hypertext Markup Language	[-]
Ie	Kvadratický moment společného příčného průřezu výztuhy a efektivní délky spolupůsobící skořepiny	m ⁴
JSON	JavaScript Object Notation	[-]
Le	Efektivní délka skořepiny spolupůsobící s lehkou výztuhou	m
L _H	Vzdálenost mezi těžkými výztuhami	m
L _s	Střední délka dvou polí skořepiny přilehlých k lehké výztuze	m
n	Počet obvodových vln u vyztuženého válcového pláště	[-]
n _{cyl}	Počet obvodových vln u nevyztuženého válcového pláště	[-]
P	Výpočtový tlak	Pa
Pa	Maximální dovolený externí tlak	Pa
PDF	Portable document format	[-]
PED	Pressure Equipment Directive	[-]
P _g	Teoretický tlak ztráty elastické stability výztuhy	Pa
PH	Teoretický tlak při elastické ztrátě stability těžké výztuhy	Pa
P _m	Teoretický tlak ztráty elastické stability válcového pláště, kuželového pláště nebo kulové skořepiny.	Pa
Pr	Dolní mez tlaku při zborcení	Pa

PS	Nejvyšší dovolený tlak	Pa
Py	Tlak meze kluzu	Pa
Pys	Tlak, který způsobí obvodové napětí na mezi kluzu ve výztuze na válcovém plášti nebo kuželovém plášti	Pa
R	Poloměr křivosti	m
S	Součinitel bezpečnosti	[-]
Sf	Součinitel závislý na způsobu výroby výztuhy	[-]
t	Tloušťka stěny stojiny výztuhy	m
V	Objem	m ³
VVD	Visual Vessel Design	[-]
WWW	World Wide Web	[-]
β	Hodnota pro výpočet v rovnici 8.5.3-24 v normě ČSN EN 13445	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Graf pro posuzování shody. [2]
- Obr. 2 Porovnání maximálního přípustného napětí dle ASME (červená) vs PED (modrá) [5].
- Obr. 3 Okno pro zadávání údajů ze softwaru VVD.
- Obr. 4 Okno pro zadávání údajů ze softwaru Sant’Ambrogio.
- Obr. 5 Zadávání údajů v programu PV Elite.
- Obr. 6 Zadávání údajů v programu AutoPIPE Vessel [30].
- Obr. 7 Využití knihovny React-Router-Dom v aplikaci.
- Obr. 8 Diagram zobrazující funkci knihovny React-Redux.
- Obr. 9 Struktura souborů v Reactu.
- Obr. 10 Část kódu horní navigační lišty.
- Obr. 11 Nevyplněný Form-input vlevo, vyplněný vpravo.
- Obr. 12 Ukázka použití komponenty s textem „DALŠÍ“.
- Obr. 13 Spinner.
- Obr. 14 Chybová hláška.
- Obr. 15 Ukázka části hlavní stránky. Zobrazena pouze pravá strana z důvodu velikosti.
- Obr. 16 Ukázka obou formulářů na přihlašovací stránce.
- Obr. 17 Volba typu válcové skořepiny.
- Obr. 18 Vstupní formuláře pro základní údaje válcové skořepiny.
- Obr. 19 Ukázka vstupních formulářů pro kulové skořepiny.
- Obr. 20 Ukázka vstupních formulářů pro výpočet eliptického dna.
- Obr. 21 Struktura souborů ve výpočetní části aplikace.
- Obr. 22 Ukázka inicializace pomocí knihovny Flask.
- Obr. 23 Diagram postupu při výpočtu válcové skořepiny.
- Obr. 24 Kód pro výpočet den tlakových nádob.
- Obr. 25 Ukázka počítaných nádob včetně rozměrů.
- Obr. 26 Zvolená T výztuha. Rozměry jsou v milimetrech.
- Obr. 27 Zvolená I výztuha. Rozměry jsou v milimetrech.
- Obr. 28 Závěrečná zpráva nevyztuženého válcového pláště 1 – vizualizace výsledků ve vytvořeném softwaru.
- Obr. 29 Závěrečná zpráva vyztuženého válcového pláště 1.
- Obr. 30 Závěrečná zpráva eliptického dna 1.
- Obr. 31 Závěrečná zpráva nevyztuženého válcového pláště 2.
- Obr. 32 Chybný výpočet rovnice v závěrečné zprávě VVD.
- Obr. 33 Závěrečná zpráva vyztuženého válcového pláště 2.
- Obr. 34 Závěrečná zpráva eliptického dna 2.

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 porovnání dat z VVD a vytvořeného softwaru pro tlakovou nádobu č. 1.
- Tab. 2 porovnání dat z VVD a vytvořeného softwaru pro tlakovou nádobu č. 2.

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Zdrojový kód aplikace.