

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Konstrukční, technologické a výpočtové
problémy při vývoji kotle malé parní lokomotivy

disertační práce

Aleš Mácha

Liberec 2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Studentská 2, 461 17 Liberec 1

Konstrukční, technologické a výpočtové problémy při vývoji kotle malé parní lokomotivy

Disertační práce

k získání akademického titulu doktor (Ph.D.)

ve studijním oboru

Části a mechanismy strojů

Ing. Aleš Mácha

Školitel: prof. Ing. Jan Honců, CSc.

Studijní program: P2302 Stroje a zařízení

Studijní obor a zaměření: 2302V010 Konstrukce strojů a zařízení, Části a mechanismy stroj

Datum státní doktorské zkoušky: 21. 12. 2004

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na v domí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Disertační práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím disertační práce.

Datum:

Podpis:

Tuto práci věnuji svému otci Rostislavu Máchovi, bývalému vedoucímu pracovníkovi vývojové dílny KD Dukla, závod Tatra Kolín, výrobci parních kotlů.

Práce byla podpořena rozvojovým projektem MŠMT F1237/2000 „Ověřování, upesnění a doplnění klasických postupů výpočtu částí strojů a mechanismů užitím moderních výpočetních metod“.

Anotace

V současné době se rozvíjí výroba a použití parních lokomotiv na zahradních železnicích. To vede k tomu, že je nutné konstruovat a vyrábět jejich kotle podle platných předpisů. Předpisy a normy na jejich konstrukci a stavbu jsou však vypracovány pro velké kotle, s mnoha doporučeními, která pro malé kotle nelze použít. Je však nutné prokázat, že použitá konstrukce je bezpečná, i při nedodržení některých požadavků.

Pro konstrukci a výrobu kotle je nutné použít materiálu houževnatého, s dobrými pevnostními vlastnostmi a tažností. Tvarově nemá být kotel příliš složitý a nemají se vyskytovat napěťové gradienty. Nemá se používat příliš tlustých stěn. Při malých měrných výkonech kotle jsou teplotní namáhání oproti jiným zanedbatelná. To bylo prokázáno teplotním výpočtem pomocí metody konečných prvků (MKP). Teplotní výpočet byl doplněn měřením teploty ve stěnách kotle.

V práci je uveden postup návrhu kotle. Podle charakteru provozu se navrhne velikost teplosměnných ploch, velikost roštu, velikost vnitřního přetlaku. V návrhu je nutné uvažovat malou hodnotu účinnosti kotle, okolo 40%. Správnost návrhu byla prokázána provedenou topnou zkouškou, kdy kotel byl schopen dodat požadovaný výkon.

Kontrolu návrhu kotle je nutné provést pomocí norem. V případě nesplněných noremních požadavků, např. tloušťek stěn, je nutné kontrolu doplnit jinou metodou, např. experimentálně nebo pomocí MKP. Tato metoda může být vodítkem i při optimalizačních výpočtech velmi zatížených částí. V práci byla MKP ještě doplněna měřením napětí pomocí tenzometru.

Klíčová slova

lokomotiva, parní kotel, pevnostní výpočet, metoda konečných prvků, MKP

Annotation

The use of steam locomotives in garden railways is increasingly popular these days. This has led to the design and manufacture of boilers for them in line with standards. These devices need to be designed and operated safely and reliably. We have to calculate the strength of these boilers according to the standards, but we cannot meet all recommendations. We have to prove that the design is safe.

In the design and production of the boiler, we have to use a flexible and ductile material with high strength. The boiler shouldn't be complicated, by stress gradients and should have thin walls. Temperature stresses are not significant for normal heating. These results were verified by the Finite Element Method (FEM) and by measuring of the temperature.

In this text, there is a methodology of how to design and produce the boiler. Regarding how the boiler is used, we calculate the size of the heat exchanging area, the area of the grate and the amount of internal pressure. We have to calculate using low efficiency of the boiler, roughly 40%. The accuracy the proposal was verified by a heating test, when the boiler was able to produce a set power.

We have to check the proposals against the standards. If the standards are not adhered to, for example thickness of walls, we have to support it by another method, e.g. experimentally or by FEM. FEM we can be used for an optimized computation of high loaded parts. The results from FEM were supported by measuring with strain gauges.

Keywords

locomotive, steam boiler, strength computation, finite element method, FEM

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	10
1 ÚVOD	12
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	13
3 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	15
3.1 Popis konstrukce kotle velké parní lokomotivy	15
3.2 Kotle modelových lokomotiv	18
3.3 Právní předpoklady konstrukce, výroby a provozu kotle	20
3.4 Zásady pro konstrukci a výrobu tlakových nádob ocelových, namáhaných vnitřním přetlakem	21
3.5 Technologie výroby	24
3.6 Konstrukční materiály pro stavbu kotlů	24
4 NÁVRH A KONSTRUKCE KOTLE	25
4.1 Určení tlaku v kotli	25
4.2 Spotřeba páry	27
4.3 Velikost teplosměnných ploch kotle	28
4.4 Velikost plochy roštu	28
4.5 Popis konstrukce kotle malé parní lokomotivy	29
4.6 Popis konstrukčních změn, provedených oproti používaným kotlům modelových lokomotiv	30
5 VÝPOČET PEVNOSTI KOTLE	33
5.1 Výpočet napětí částí kotle podle norem	33
Výpočtová teplota	33
Dovolené konstrukční namáhání	33
Tloušťka rovných stěn	34
Rozpěrky rovných stěn	35
5.2 Optimalizace tvaru rozpěrky	37
Popis optimalizace	37
Geometrické rozměry rozpěrky	38
Parametry výpočtu MKP	39
Analýza zatížení	39

Tvar sít , okrajové podmínky	39
Parametry geometrie	40
Zhodnocení výsledků	41
5.3 Výpočet teplot ve stěnách	44
Tepelný tok ze stěny do vody - přímá výhřevná plocha	47
Tepelný tok stěnou - přímá výhřevná plocha	47
Tepelný tok z ohně do stěny - přímá výhřevná plocha	47
Tepelný tok ze stěny do vody - nepřímá výhřevná plocha	47
Tepelný tok stěnou - nepřímá výhřevná plocha	48
Tepelný tok z ohně do stěny - nepřímá výhřevná plocha	48
5.4 Výpočet teplot ve stěnách pomocí MKP	48
5.5 Výpočet pevnosti kotle pomocí MKP - teplotní zatížení	51
5.6 Výpočet pevnosti kotle pomocí MKP - vnitřní přetlak	53
6 EXPERIMENTY A MĚŘENÍ	55
6.1 Tlaková zkouška	55
6.2 Zkouška výkonu a účinnosti	56
Uspořádání zkoušky	57
Použitá měřicí aparatura	58
Tepelné namáhání během zkoušky	58
Výpočet účinnosti	59
6.3 Měření teploty stěny	59
Použitá měřicí aparatura	62
6.4 Měření napětí ve stěnách kotle	63
Uspořádání zkoušky	65
Použitá měřicí aparatura	66
Vyhodnocení měření	67
7 METODIKA NÁVRHU MALÝCH PARNÍCH KOTLŮ	69
8 ZÁVĚR	72
POUŽITÁ LITERATURA	71
PUBLIKACE AUTORA	72
PŘÍLOHY	73
Příloha A (strana 1/3)	73
Příloha A (strana 2/3)	74
Příloha A (strana 3/3)	75
Příloha B	76
Příloha C	77

Seznam použitých symbolů

Označení	Jednotky	Název
a	mm	rozměr obrazce vyztužení
b	mm	rozměr obrazce vyztužení
c	mm	korozní přídavek
$c_{1,2}$	mm	korozní přídavek
C_4	-	tvarová konstanta
C_v	$kJ/(kg \cdot m^3)$	měrná tepelná kapacita vody
D_p	mm	průměr válce
d_s	mm	průměr rozpěrky
d_s	mm	průměr připojení rozpěrky
e	mm	tloušťka stěny
E	MPa	modul pružnosti
eh	mm	tloušťka dna
es	mm	tloušťka bubnu
e_w	mm	délka připojení
f	MPa	dovolené konstrukční namáhání
F	N	síla
f_p	-	koeficient adheze
F_p	N	síla na píst
g	m/s^2	tíhové zrychlení
h	kJ/kg	měrná entalpie syté páry
h_r	mm	výška přesazení rozpěrky
i	-	počet
l	m	délka
Li	mm	vzdálenost rozpěrky od středu vyztužení
L_2	mm	délka rozepnutí
m_c	kg	spotřeba vody
m_i	kg	hmotnost lokomotivy
mu	kg	hmotnost odpařené vody
mp	kg	hmotnost paliva
m_i	kg	početní hmotnost vody
m_2	kg	koncová hmotnost vody
n	-	počet
$n_{1,2}$	m	deformace
p	MPa	kotlový tlak
p_d	MPa	výparový tlak
p_z	MPa	tlak při tlakové zkoušce
P_u	kW	výkon kotle
P_{kh}	kW	výkon kotle hodinový
pp	MPa	střední přetlak páry
P_s	W	výkon parního stroje
PS	bar	nejvyšší dovolený tlak
$p_{1,2}$	MPa	přetlak páry
Q_e	J	teplo z kotle odebrané
Q_i	J	teplo do kotle přivedené
q	kW/m^2	tepelný tok
q'	kW/m^2	tepelný tok nepřímé výhřevné plochy
qm	$kg/(m^2 \cdot h)$	namáhání výhřevné plochy

qn	MJ/kg	výhřevnost paliva
qr	kW/m^2	měrný tepelný výkon roštu
R_m	MPa	pevnost materiálu
$Rp_{0,2 \text{ } t_c}$	MPa	mez kluzu materiálu při teplotě t_c
$Rp_{0,2 \text{ } 20}$	MPa	mez kluzu materiálu při teplotě 20 °C
r_p	mm	polom r kliky
Rp	mm	polom r kola
Rr	mm	rádus přechodu rozpěrky
s	$kJ/(kg \cdot K)$	měrná entropie páry
S	$\frac{mm^2}{mm}$	plocha st ny p ípadající na 1 výztuhu
Si	$\frac{mm^2}{mm}$	plocha pr ezu výztuhy v nejslabším míst
$StO, 1$	mm	tloušťka stěny
S_k	m^2	přímá výhřevná plocha kotle
S'_k	m^2	nepřímá výhřevná plocha kotle
Sr	m^2	plocha roštu
t	s, h	as zkoušky
t_c	$^{\circ}C$	výpočtová teplota
To	N	obvodová (tažná) síla
t_p	s	as
T	N	tíha
ts	$^{\circ}C$	teplota st ny
$t_{sti,2 \text{ } 0}$	$^{\circ}C$	teplota st ny
$t_{vi, 2 \text{ } 0}$	$^{\circ}C$	teplota vody
Vu	m/s	rychlost lokomotivy
v_p	m/s	st ední pístová rychlost
V	1	objem
Vu	m^3	objem páry pro stroj
x_t	mm	x souřadnice tenzometru
$Xi_{,2}$	m	sou adnice
$X_{si, 2}$	-	suchost páry
y	-	tvarový sou initel
y_t	mm	y souřadnice tenzometru
z_t	mm	z souřadnice tenzometru
$ai,2 \text{ } (^{\circ})$	$W/(m^2K)$	sou initel p estupu tepla
S	m	tloušťka stěny
δ	-	poměrné prodloužení
Ex, y, z	-	přetvoření v ose x, y, z
nk	-	účinnost kotle
A	$W/(m \cdot K)$	tepelná vodivost materiálu
M	-	Poissonovo číslo
V_s	-	koeficient svaru
P^{ii}	kg/m^3	m rná hmotnost
a	Pa	tahové, tlakové nap tí
	MPa	ekvivalentní napětí HMH
$ai,2,3$	MPa	1., 2. a 3. hlavní napětí
T	Pa	smykové nap tí

1 Úvod

Všechny svoje symfonie bych dal za to, kdybych byl vynášel lokomotivu.

Antonín Dvořák

V současné době zahradní železnice zažívají velký rozvoj. Zkušenosti se stavbou kotlů lokomotiv malých měřítek v literatuře však nejsou dostupné, a proto je nutné odvozovat tyto zkušenosti ze stavby velkých kotlů. Konstrukce malých kotlů se provádí v tšinou tak, že požadovaný kotel vznikne prostým zmenšením vzorového kotle. To však přináší řadu problémů z hlediska konstrukce a technologie, které je třeba odstranit. Také z provozu velkých lokomotivních kotlů jsou známy závady, které ovlivňují používání kotle (např. praskání rozpěrek) a lze předpokládat, že se takové závady objeví i u kotle malého měřítka.

Konstrukce a výstroj (i malého) kotle musí odpovídat současným bezpečnostním předpisům, protože se jedná o zařízení, při jehož poruše vzniká nebezpečí požáru, ohrožení života a materiálních škod. Pro konstrukci kotlů byly vypracovány normy, některé z nich však obsahují taková doporučení, že je není možné pro malé kotle použít. Jedná se např. o tloušťku použitých plechů, doporučené přídavky na korozi. Lze však využít moderních výpočtových prostředků, například metody konečných prvků (MKP), a tyto rozpory vysvětlit, případně porovnat oba způsoby výpočtu.

Předlohou pro lokomotivu se stal stroj CKD 1435 BS 200, normálněrozchodná dvounápravová lokomotiva o výkonu 200 kW, pro službu v cukrovarech a malých průmyslových podnicích, vyráběná po druhé světové válce. Měřítko modelu bylo zvoleno podle rozchodu používaných zahradních drah v zahraničí, 7 1/8" (184 mm), tj. 1:7,8. Lokomotiva byla celá přestavována tak, aby byla schopná služby na zahradní železnici. Konstrukce byla zjednodušena, rozměry stroje jsou uzpůsobeny větší tažné síle, než by odpovídalo prostému přepočtení měřítkem. Byla zpracována výkresová dokumentace ke každému dílu a lokomotiva je vyráběna zakázkově.

Některé zahraniční výrobce a jejich výrobky uvádí příloha A.

2 Cíle disertační práce

Cílem disertační práce je návrh výpočtové metodiky pro konstrukci malých parních kotlů a generátorů páry malých vnitřních objemů. Mělo se jednat o kotle pro parní stroje, mikrokogenerační jednotky s malým pístovým parním strojem o výkonu několika kW, odstraňovače nečistot tlakovou párou, zařízení pro ekologické hubení trávy parou apod. Dále je cílem realizace malého parního kotle pro použití v lokomotivě zahradní železnice a experimentální ověření použitých postupů.

Postupy, uvedené v této práci, se dají použít i pro jiné kotle a tlakové nádoby s prostupem tepla stěnami.

Postup řešení

Za základ návrhu kotle byly vzaty požadavky na provoz a výkon daného parního stroje. Z těchto požadavků byla určena velikost teplosměnných ploch a velikost roštu. Správnost návrhu byla ověřena zkouškou účinnosti a topnou zkouškou výkonnosti.

Zástavbové rozměry kotle vychází z vnějších rozměrů velkého kotle, po přepočtení použitým měřítkem. Konstrukce vnitřku kotle odpovídá použitým polotovárám a výrobní technologii. Pro dosažení většího výkonu byl kotel zvětšen, pec byla prodloužena směrem do budky. Pro dosažení vhodného tvaru rozpěrky byl návrh podpořen optimalizačním výpočtem a zjištěny nejvhodnější rozměry.

Za základ pevnostního výpočtu byla vzata norma [13]. Podle ní byly počítány kritické části, tj. rovné stěny vyztužené a rozpěrky. Válcový plášť a trubky s ohledem na tloušťku použitých polotovarů nejsou kritické a počítány podle této normy nebyly. Pevnostní výpočet byl proveden také pomocí MKP. Byl uvažován vliv vnitřního přetlaku i teplotních napětí. Pevnostní výpočty byly experimentálně ověřeny tlakovou zkouškou a na vybraných místech kotle pomocí tenzometrů. Teplotní výpočty byly ověřeny měřením teplot na kotli během provozu.

K dosažení cílů disertace byly dílčí etapy navrženy takto:

- Optimálně navrhnout, zkonstruovat a vyrobit kotel parní lokomotivy.
- Ověřit konstrukci výpočtovými postupy, používanými v normách a pomocí MKP. Ukázat, že uvedený výrobek je bezpečný.
- Provést ověřující experimenty a měření.
- Navrhnout konstrukční a výpočtovou metodiku.



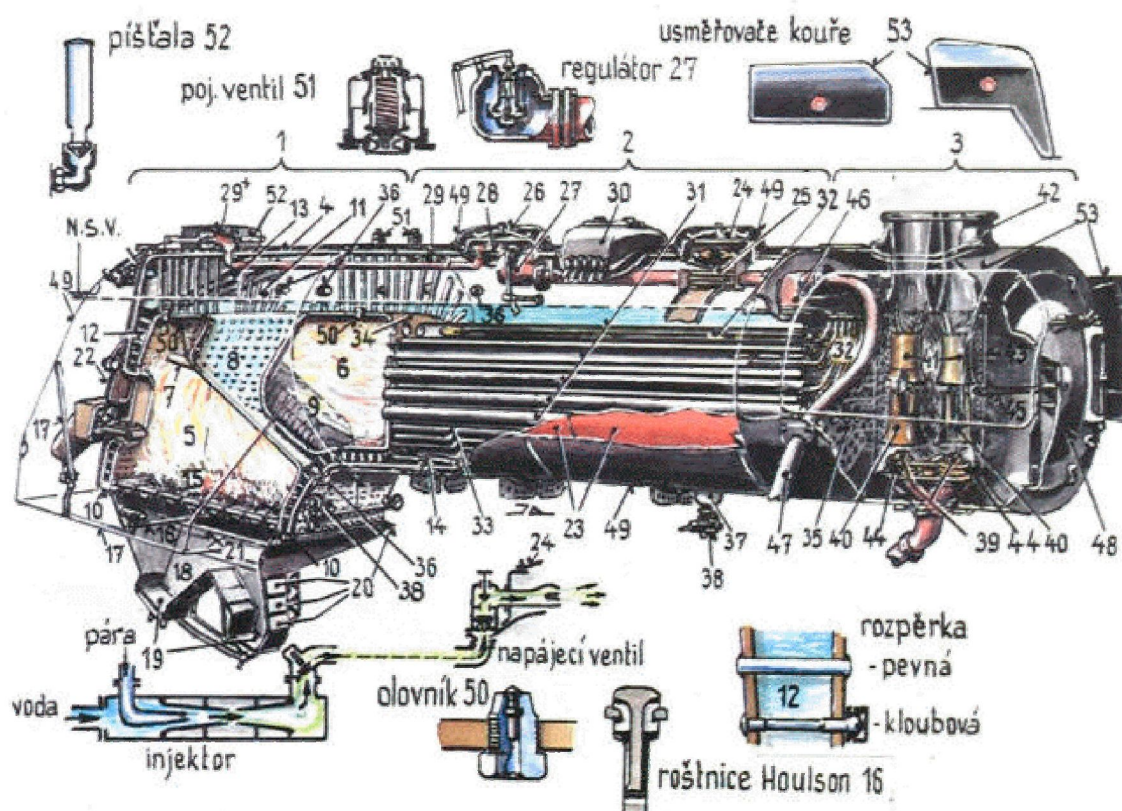
Obr. 2.1 Lokomotiva jako zdroj zábavy malých i velkých dětí.



Obr. 2.2 Celkový pohled.

3 Rozbor současného stavu

3.1 Popis konstrukce kotle velké parní lokomotivy



Obr. 3.1 Popis kotle parní lokomotivy.

Kotel je srdcem parní lokomotivy [27], obr. 3.1. Musí dodat potřebné množství tlakové páry k pohonu lokomotivy a pro její pomocná zařízení. U starších lokomotiv byl tlak páry v kotli 1,0 až 1,3 MPa při teplotě 180 až 190 °C (pára nasycená), u novějších lokomotiv 1,4 až 2,1 MPa při teplotě 250 až 415 °C (pára přehřátá). V cizině se výjimečně konstruovaly kotle s tlakem až 6 MPa a dokonce i 12 MPa. Byly však složité a neosvědčily se.

Kotel parní lokomotivy má tři části: skříňový kotel (1), válcový kotel (2) a dýmnicí (3). Skříňový kotel se skládá z kotlové skříňe (4) a topeniště (5). Starší lokomotivy měly topeniště měděné, později se vyrábělo ze speciálních ocelových plechů. Některé kotle měly topeniště se spalovací komorou (6). Do topeniště se vkládaly dvě až tři varné trubky (7), popř. varníky - termosifony (8). Zvětšila se tím

přímá výhřevná plocha, kterou tvoří vodou smáčené stěny topeniště, spalovací komory varných trubek a varník . Varné trubky a varníky zvyšují ob h vody v kotli a tím i její odpařování. Klenutí v topeništi (9) je ze šamotových cihel. Usměňuje proudění zplodin hoření tak, aby dobře předávaly své teplo stěnám topeniště. V provozu klenba svým žářem podporuje proces spalování. Celé topeniště je ve vodním prostoru kotlové skříně. V dolní části je spojeno nožním rámem (10) s kotlovou skříní. Topeniště a kotlová skříň jsou s ohledem na přetlak páry v kotli vyztuženy a současně spojeny stropními rozpěrami (11) a rozpěrkami (12), a to pevnými a z části kloubovými, popř. i příčnými rozpěrami. Dveřnice kotlové skříně je vyztužena plechovými výztuhami (13). Trubkovnice topeniště nebo spalovací komora je v dolní části vyztužena ručkami (14). Spodek topeniště uzavírá rošt (15) složený z roštnic. Mezi roštnicemi jsou mezery, kterými proniká vzduch k palivu na roštu a jimiž propadá popel do popelníku. Část roštu bývá sklopná. Novější kotle jsou vybaveny natřásacím roštem Houlson, který je sestaven z komůrkových roštnic (16). Otvory v jejich hříbovité hlavě se přivádí vzduch k palivu, řady roštnic jsou pohyblivé ve čtyřech polích. Pole jsou ovládána pákami (17) z budky lokomotivy, aby bylo možné vyčistit nebo upravit vrstvu paliva na roštu. Pod roštem je popelník (18), ve kterém se shromažďuje popel a škvára při čištění roštu. Má odklopná dna (19) k vyprázdnění popelníku a popelníkové klapky (20), jimiž se reguluje p ívod vzduchu k palivu na roštu. Ob za ízení se ovládají pákami z budky. V popelníku je zabudováno vstřikové potrubí (21), umožňující kropit rozžhavený popel nebo škváru v popelníku.

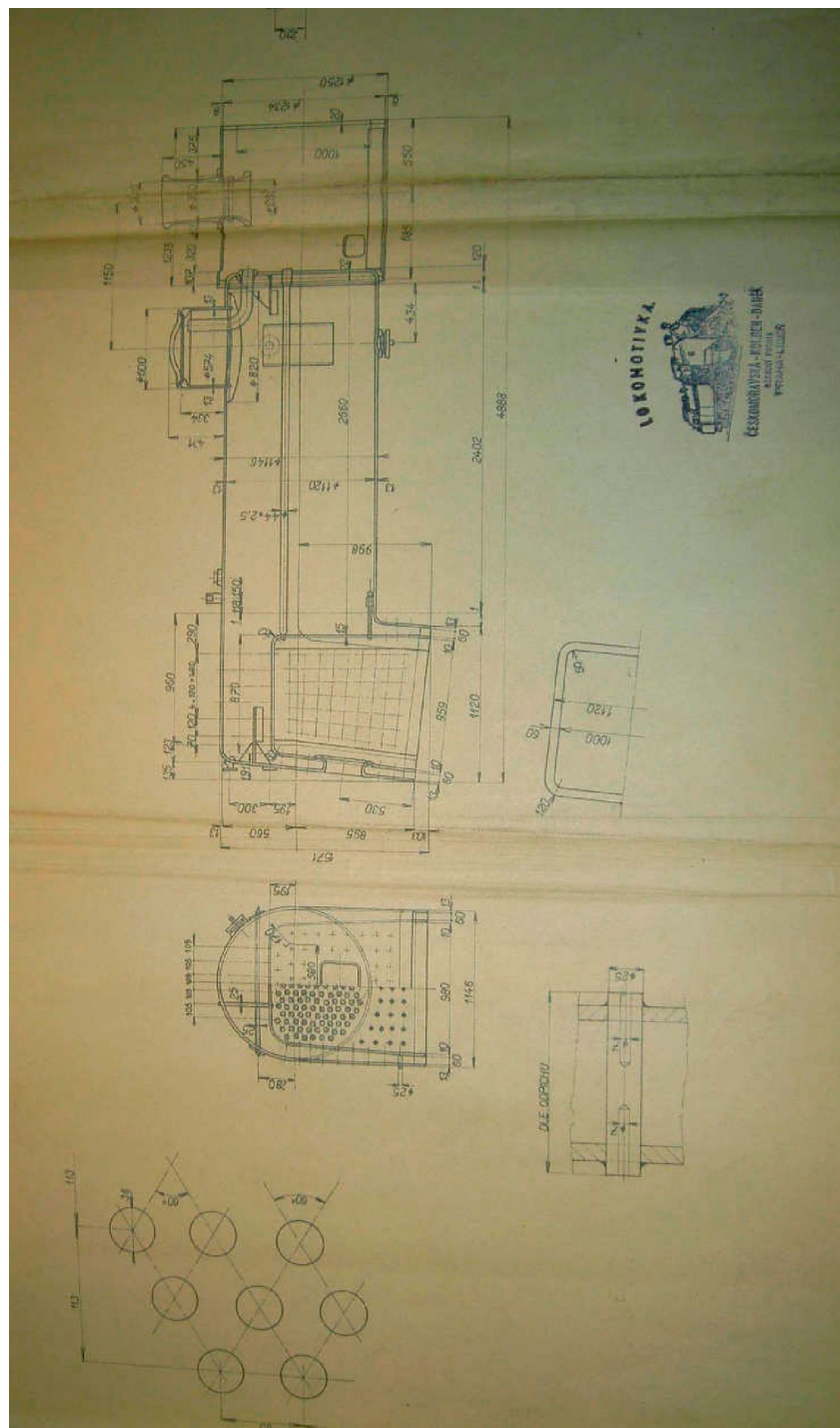
Vzadu je ve skříňovém kotli a topeništi upraven topný otvor s topnými dvířky (22), pro přikládání paliva na rošt lopatou. Dvířka mohou být kruhová, otočná kolem svislého čepu vně kotlové skříně, obdélníková, odklopná dovnitř topeniště nebo oválná, dvoudílná, otevíraná křídlovitě do stran (tzv. typ butterfly - motýlek). U lokomotiv s mechanickým příkladačem uhlí je topný otvor prodloužen dolů, aby pod dvířky mohla být umístěna rozmetací deska p íklada e.

Válcový kotel se skládá z kotlových kroužků (23). Parní prostor kotle je zvětšen o jeden nebo dva parojemy. V předním parojemu (26) je umístěn regulátor (27). V parojemu je též odlučovač vody (28) a začátek potrubí k armaturové rozváděcí hlavě (29). Mezi parojemy bývá umístěna nádrž písečníku (30). Ve vodním prostoru válcového kotle jsou kornové trubky (31) většího průměru, do kterých jsou vloženy přehřívačové články (32) - dvě až tři větve v jedné trubce a žárnice (33) - trubky menšího průměru. Trubky jsou zaválcovány nebo přivařeny do trubkovnice topeniště -

spalovací komory (34) a do trubkovnice dýmnice (35). Dosahují délky 4,5m až 7,5m podle velikosti kotle. Proudí jimi horké plyny z topeniště do dýmnice a způsobují var vody kolem trubek. Plocha kouřovek a žárnic, smáčená vodou, tvoří nepřímou výhřevnou plochu kotle. Z přímé a nepřímé výhřevné plochy se skládá celková výhřevná plocha kotle. Plocha přehřívačových článků na straně páry tvoří výhřevnou plochu přehřívače. Skříňový i válcový kotel je opatřen vymývacími otvory (36), uzavřenými vymývacími víčky nebo šrouby. Na spodku válcového kotle je kalojem (37) s odkalovačem (38), který je také na spodní části skříňového kotle. Pneumatické odkalovače lze obsluhovat i z jízdy lokomotivy z její budky.

Dýmnice odvádí do ovzduší kom z kotle a výfukovou páru z parního stroje, zachycuje jiskry a popílek a vytváří výfukovým zařízením dyšna -komín potřebný tah v kotli k hoření paliva na roštu. Musí být dostatečně prostorná a utěsněná. Moderní kotle byly někdy vybaveny výfukovým zařízením „Kylchap“ (konstruktéři Kylálá a Chapelon). Má dvojitý výfukový stojan a dvě dyšny (39), dva usměrňovací nástavky (40), každý se čtyřmi tryskami a dva válcové nástavky (41). Komín (42) je proto rovněž dvojitý. V principu je to ejektor, který umožňuje automatickou regulaci tahu v kotli v závislosti na výkonu parního stroje. Prostor mezi dyšnou a komínem je uzavřen jiskrojemem (43). Pokud parní stroj nepracuje, lze krátkodobě zvýšit tah v kotli pomocnou dmychavkou (44). Horký popílek v dýmnici lze kropit vodou stříkacím zařízením (45) a omezit tak jiskření popřípadě vyhřátí a zkřížení litinových dýmničních dveří (na čele kotle). V dýmnici je též dvoudílná přehřívačová skříň (46). K ní jsou připojeny přehřívačové články (32). Jimi proudí nasycená pára ze zadní části přehřívačové skříně. Zplodiny hoření procházející kouřovkami, páru v člancích přehřívají. Po přehřátí je pára odváděna články do přední části přehřívačové skříně a z ní přiváděcími trubkami (47) k parnímu stroji. U nás se většinou používal Schmidtův přehřívač páry. Dýmnice je uzavřena dvířky. U lokomotiv rakouského původu byla dvířka plochá, dvoudílná. Skříňový i válcový kotel je opatřen tepelným obalem (49) proti ztrátám tepla.

Obdobný kotel velké lokomotivy, ke kterému se vztahuje výše uvedený popis, ukazuje také výkres kotle lokomotivy CKD 1435 BS 200, který je zobrazen na typovém výkrese na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Typový výkres kotle lokomotivy ČKD 1435 BS 200.

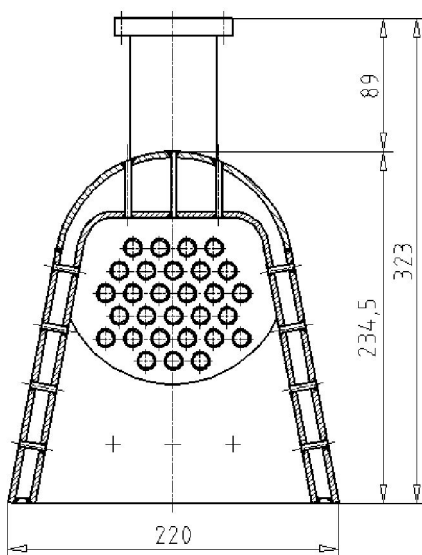
3.2 Kotle modelových lokomotiv

Jako vzoru kotl , používaných pro modelové lokomotivy, byl vzat výkres kotle z katalogu firmy Zimmermann GmbH, Ohringen, [32]. Velikost tohoto kotle odpovídá

velikosti našeho kotle. Jak je vidět z typového výkresu kotle na obr.3.3 a 3.4, jedná se vlastně jen o zmenšení konstrukce skutečného kotle, podobnému např. kotli na obr. 3.2.

Kotel je navržen jako svařenec z ocelových trubek a rovných stěn, kterým jsou zápusťkově vykovány připojení k ostatním stěnám. Strop a boky pece jsou zhotoveny z ohnutého plechu. Dvacet devět trubek je zaválcováno do trubkovnic. Dýmnice je samostatně přišroubována k dýmniční trubkovnici (dýmnice v typovém výkrese není zobrazena).

Obr. 3.3 Typový výkres kotle fy Zimmermann GmbH, podélný řez.

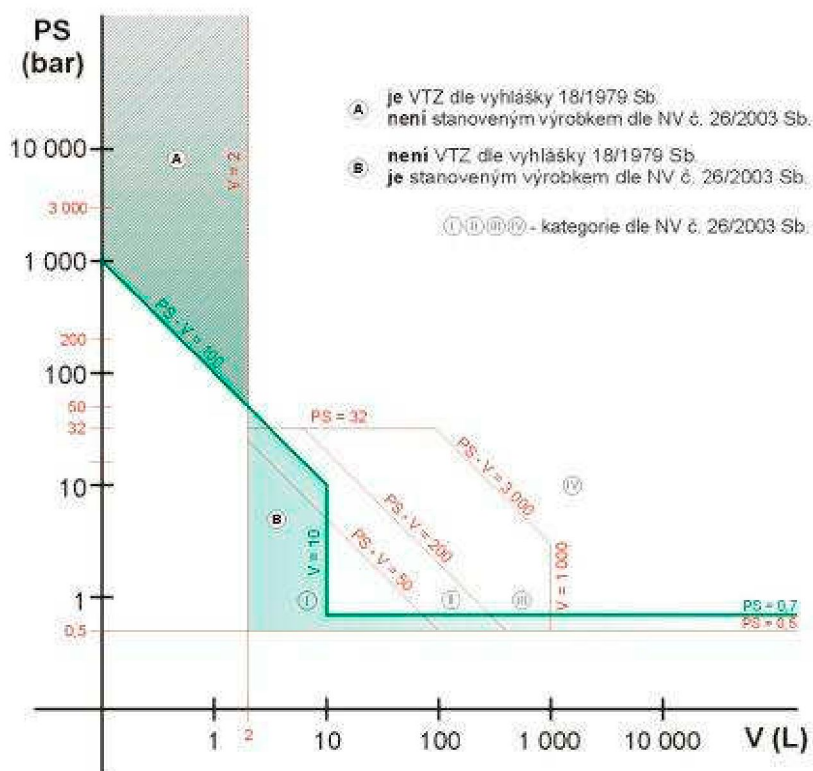


Obr. 3.4 Typový výkres kotle fy Zimmermann GmbH, příčný řez.

Pouhé zmenšení konstrukce však s sebou přináší i složitost ve výrobě. Nevýhodné konstrukční uzly tohoto kotle podrobně rozebírá část 4.6 Popis konstrukčních změn, provedených oproti používaným kotlům modelových lokomotiv.

3.3 Právní předpoklady konstrukce, výroby a provozu kotle

Pro konstrukci, výrobu a provoz kotlů v Evropském společenství platí Směrnice Evropského parlamentu a rady 97-23-ES ze dne 29. května 1997 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se tlakových zařízení. V České republice je tato směrnice přejata do zákona č.22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Vláda na základě § 22 tohoto zákona zavádí nařízení vlády č. 26/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. Tímto nařízením se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení a sestavy (několik tlakových zařízení sestavených výrobcem tak, že představují ucelenou funkční jednotku) s nejvyšším dovoleným tlakem (PS) větším než 0,5 bar a vnitřním objemem V větším než 2 litry.



Pro **konstrukci, výrobu a zkoušení** kotle našeho typu platí harmonizovaná norma ČSN EN 12 953 Válcové kotle [13]. Tyto kotle se pak zařazují do tříd I až IV podle vnitřního objemu V a přetlaku PS a jejich součinu, znázorněno na obr.3.5. V části 1.3 této normy je uvedeno, že norma neplatí pro kotle pro železniční lokomotivy a pro použití na lodích. Pro naši lokomotivu však platí.

Pro kotle na **lokomotivách** platí ustanovení zákona č. 266/1994 Sb. o dráhách. Do působnosti tohoto zákona však spadají pouze dráhy do rozchodu 600mm.

Pro dráhy rozchodu menšího, než 600mm, platí vyhláška č. 392/2003 Sb. o bezpečnosti provozu technických zařízení a o požadavcích na vyhrazená technická zařízení tlaková, zdvihací a plynová při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem. Použití kotle však není pro hornickou činnost a proto tato vyhláška pro náš kotel neplatí.

Pro **provoz, údržbu, opravy a inspekce** kotlů platí zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce v úplném znění zákona č.338/2005 Sb., zákon č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy a dále vyhláška č. 18/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterými se určují vyhrazená tlaková zařízení (VTZ, obr. 3.5). Tyto zákony a nařízení zavádějí ČSN 07 0710 Provoz, obsluha a údržba parních a horkovodních kotlů [9].

3.4 Zásady pro konstrukci a výrobu tlakových nádob ocelových, namáhaných vnitřním přetlakem

Jako materiálu pro stavbu kotle je uvažována ocel. Použití jiných materiálů, jako například mědi a mosazi, uvažováno není pro obtížnější způsob spojování (pájení tvrdými pájkami), menší pevnost tohoto materiálu, větší poizovací náklady a celkově složitější konstrukci.

Zásady byly odvozeny pro statická zatížení, za předpokladu, že rozhodujícím kritériem pro určení provozní bezpečnosti je poměr meze pružnosti (podle materiálových listů) k největšímu membránovému napětí pláště nádoby [14]. Toto hledisko je možno uplatňovat jen u vyzkoušených konstrukcí, nepříliš velkých rozměrů

a za předpokladu, že materiál má v provozních podmínkách tak dobré plastické a pevnostní vlastnosti, jaké vykazuje při standardní zkoušce tahem. Je-li zatížení často proměnlivé, tvar nádoby neobvyklý a složitý, rozměry nádoby mimořádně velké, provozní teplota extrémně vysoká nebo nízká, či proměnlivá a nastává vlivem výroby nebo provozních podmínek znatelná změna plastických nebo pevnostních vlastností materiálu, pak nelze počítat podle elementárních způsobů, nelze zanedbávat lokální špičky napětí a nelze považovat mez pružnosti materiálu za jediné směrodatnou pro posouzení bezpečnosti provozu. Volba materiálu, tvar nádoby a způsob výroby se musí řídit provozními podmínkami, pro které je nádoba určena. Je nutno provést rozbor mezních stavů pevnosti tělesa, rozvážit podobnou volbu materiálu a řešit konstrukci komplexně, aby výrobek byl lehký, levný a naprosto spolehlivý.

Jednoduché standardní předpisy pro výpočet tlakových nádob jsou vhodné pro běžné, zpravidla nízkotlaké nádoby vyzkoušených typů. Takové předpisy nejen nevyhnují, ale s ohledem na dnešní praxi přímo vyžadují zdokonalování výpočtových podkladů a shromažďování zkušeností a poznatků z výroby i provozu nádob. Především je třeba si uvědomit, že součinitel bezpečnosti je vázán na metodu výpočtu (na použité vztahy) a na volbu mezní hodnoty napětí nebo deformace (tak, jak odpovídá provozním podmínkám).

Pro statické zatížení je podle teploty směrodatná u ocelových nádob mez plastických deformací ($R_p 0,2$), mez tečení materiálu za tepla (např. 1% prodloužení za 10^5 hodin), je-li nutno omezit trvalé změny tvaru nádob a jsou-li meze plastických deformací materiálu znatelně pod mezí pevnosti materiálu. Rozhoduje-li u křehkých materiálů a tam, kde se lom vyvíjí bez větších plastických deformací pevnost, řídí se podle teploty materiálu výpočet nádob konvenční pevností (R_m), nebo pevností za tečení (např. po $1,5 \times 10^5$ hodinách), či za nízkých teplot křehkou pevností.

Dosavadní běžné předpisy výpočtové nezahrnují velmi závažné odchylky skutečných mezních stavů nádob od uvedených mezních napětí zjišťovaných na hladkých malých tyčích. Tak se neuvažuje vliv opakovaného namáhání při vysoké úrovni špičkového napětí ve stěně nádob, nepočítá se s únavou materiálu při současně korozi, nerespektují se hlediska důležitá pro vyloučení náhlých křehkých lomů těles, neuvažuje se vliv dynamických krátkodobých zatížení, nepředpokládá se ani relaxace napětí v dlouhodobém provozu. Při tom se nádoby považují za složené zpravidla z dokonale provedených a jen rovnoměrně rozděleným tahem namáhaných stěn.

Nádoby vystavené v provozu normální nebo mírně zvýšené teplotě od 20°C až do 300°C.

Provozní přetlak je v mezích 0,5 až 2,5MPa a má povahu klidného zatížení. Za provozu nevznikají rychlá stídání teploty stínny.

Tlakové rotační nádoby se navrhuji podle běžných pevnostních vzorců, platných pro rotační tenkostěnná tělesa při namáhání statickým přetlakem, při němž se zanedbává vliv vedlejších zatížení a místních tvarových změn. Obvykle není uvažován ani vliv tepelného toku stěnou nádoby. Tento jednoduchý výpočet vyhovuje tam, kde nádoba bývá jednodimenzována a provozní podmínky nekladou velké požadavky na vlastnosti materiálu. Mimořádné provozní teploty, změny houževnatosti materiálu v provozu, vysoké nebo pulsující tlaky a intenzivní nestacionární tepelný tok stínou způsobily však nejednou vážné poruchy a ukázaly, že vžitě vzorce pro dimenzování tlakových nádob nelze pokládat za postačující. Nutno si uvědomit, že jednou z důležitých zásad konstrukce nádob je co nejlepší využití materiálu. Zbytečně tlusté stěny zdražují výrobu, znesnadňují svařování a slícování, způsobují vyšší stav vnitřních a teplotních pnutí a vytvářejí nepříznivou trojosou napjatost, vedou k obtížím při montáži a kontrole kvality hotového tělesa.

Místní zvýšení napětí vyvolané vrubem, změnou tvaru nebo lokálním zatížením, se při statickém zatížení neuplatňuje nebo se uplatňuje jen částečně, pokud není u velkých těles nebezpečí náhlých křehkých lomů. Zejména je možno pominout místní napětí ohybová. Maximální provozní namáhání u nádob vyrobených z materiálů s dobrými plastickými vlastnostmi, například z manganové oceli, lze určit statistickými zkouškami tlakovými až do porušení. Při překročení meze pružnosti se vyrovnávají špičky napětí a pro pevnost tlakových nádob pak jsou rozhodující tahová napětí membránová.

Není správné, aby maximální provozní namáhání leželo v oblasti plastických deformací, neboť nelze připustit tím vzniklé změny mechanických vlastností ocelí (hromadění poškození materiálu) a změny v tloušťkách stěn. Také se zřetelem na svařované a nýtované spoje, dále se zřetelem na těsnost přírubových a zaválcovaných spojů je nutno za mezní namáhání považovat mez pružnosti. U nádob vyrobených z materiálu s velmi dobrými plastickými vlastnostmi a stabilitou těchto vlastností v dlouhodobém provozu při statickém zatížení je ovšem možno využít této skutečnosti a v mezním stavu připustit poměrné plastické deformace i několik procent a

využít výhodné změny při namáhání stěny tvorbou plastických kloubů. Zvýšení únosnosti místními plastickými deformacemi vede ke snížení hmotnosti a ceny tělesa.

Lokální špičky napětí vlivem tvarových změn nebo vrubů není třeba uvažovat. To ovšem platí u nádob obvyklých rozměrů, jinak u velikých těles je nutné se vyhnout křehkému porušení.

3.5 Technologie výroby

Nádoby jsou většinou svařované nebo bezešvé. Pro výrobu není nutno předpisovat přísné tolerance, např. kruhovitosti a trvat na tvarově dokonalém provedení. U nádob, vystavených provozním teplotám vyšším než 150 °C, nesmějí se výrobní chyby ve slícování nebo kruhovitosti napravovat místním tváření za studena, nýbrž pouze za tepla, při správné kovací teplotě. Slícování v místech svarů má být všeobecně takové, aby nenastalo větší přesazení u podélných a více namáhaných spojů než tloušťky stěny, u příčných a méně namáhaných spojů než tloušťky stěny. Povrch svarů se neobrušuje. Po svařování není třeba tepelného zpracování, pokud není tloušťka stěny větší než asi 12mm. Nevyžaduje se zkoušek dokonalosti svarových spojů.

Výrobce musí kotel vyrábět v souladu s normou [13]. Je třeba zkoušených svářečů, musí být sledován tok materiálu atd.

3.6 Konstrukční materiály pro stavbu kotlů

Kotle se dnes vyrábějí hlavně svařováním, takže základními požadavky na tyto materiály jsou dobrá svařitelnost, obrobitelnost, příznivé vlastnosti pevnostní, tj. vysoká mez průtahu. Součásti pracují vesměs v oblasti teplot pod 350 °C, takže se u nich neobjeví tečení. Materiál má mít současně dostatečnou tažnost a houževnatost a dobrou tepelnou vodivost, aby snesl vyšší teplotové gradienty a špičky napětí, které v něm vznikají zvláště při najíždění a odstavování kotle.

Pokud pracovní prostředí neprobíhá abnormální korozi, používá se uhlíkových materiálů, a to pro bezešvé válcové nádoby trubek z uhlíkové oceli pevnosti 350MPa, pro svařované nádoby kotlových plechů o min. pevnosti 360 až 410MPa. Pokud jsou nádoby z lité oceli, používá se běžného uhlíkového materiálu pevnosti 520MPa. Šedé

litiny se používat nemá. U látek siln p sobících korozi a u látek agresivních je nutno volit vhodné antikorozní materiály.

Mechanické vlastnosti nejběžnějších ocelí jsou uvedeny v tab. 3.1.

Ocel (ČSN)	Použití do t_s [°C]	Pevnost R_m při t_s = 20°C [MPa]	Nejmenší $R_{p0,2tc}$ [MPa] při t_s [°C]					
			20	200	250	300	350	400
P235GH (11 366.1)	450	360 - 450	230	180	170	140	120	100
P265GH (11 418.1)	450	410 - 500	260	210	190	165	140	120
P295GH (13 030.1)	400	470 - 560	290	255	240	220	185	145
P355GH	400	510 - 650	300	255	235	215	200	180

Tab. 3.1 Vlastnosti základních ocelí pro kotle.

4 Návrh a konstrukce kotle

4.1 Určení tlaku v kotli

(Pokud se kdekoli v práci vyskytuje termín *tlak*, vždy se jedná o *přetlak*, tedy tlak vztažený k hodnotě atmosférického tlaku 0,1 MPa.)

V tab.4.1 jsou uvedeny rozměry stroje a další charakteristiky lokomotivy. Velikost stroje a hmotnost lokomotivy jsou zvoleny tak, aby lokomotiva byla schopna dopravit vlak o hmotnosti 500kg na stoupání 40 ‰.

parametr	označení	hodnota
průměr válce	D_p	38 mm
poloměr kliky	r_p	19 mm
poloměr kola	r_p	60 mm
hmotnost lokomotivy	m_l	120 kg
tíhové zrychlení	g	10 m/s ²

koeficient adheze

 f_p

0,3

Tab. 4.1 Veličiny ve výpočtu přetlaku.

Lokomotiva CKD 1435 BS 200 dosahuje rychlosti 40km/h , což pro náš model představuje po přepočtení modelovým měřítkem 1:7,8 rychlost $v_u = 5\text{km/h} = 83\text{m/min} = 1,4\text{m/s}$.

Otáčky n_u , odpovídající uvedené rychlosti a poloměr kola R_p , jsou rovny

$$n_u = \frac{v_u}{2 \cdot \pi \cdot R_p} = \frac{83}{2 \cdot \pi \cdot 0,06} \text{ ot/min} = 218 \text{ ot/min} = 3,6 \text{ ot/s.} \quad (4.1)$$

Maximální obvodová (tažná) síla T_o , kterou stroj s ohledem na koeficient adheze f_p přenese, je rovna s ohledem na tíhu T_p

$$T_o = T_p \cdot f_p = m \cdot g \cdot f_p = 120 \cdot 10 \cdot 0,3 \text{ N} = 360 \text{ N.} \quad (4.2)$$

Výkon, který odpovídá této tažné síle při rychlosti v_u , je roven

$$P_s = T_o \cdot v_u = 360 \cdot 1,4 \text{ W} = 504 \text{ W} \quad (4.3)$$

Výkon parního stroje odpovídá čtyřem iným zdvihům za otáčku (dvoj iný stroj)

$$P_s = 4 \cdot F_p \cdot v_p \quad (4.4)$$

Veličina v_p je střední pístová rychlost, která je rovna celkové dráze pístu za sekundu

$$v_p = 2 \cdot 2r_p \cdot n_u = 4 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 3,6 \text{ m/s} = 0,42 \text{ m/s.} \quad (4.5)$$

Úpravou a dosazením do rovnice (4.4) dostaneme sílu na píst F_p

$$F_p = \frac{P}{4v_p} = \frac{504}{4 \cdot 0,42} \text{ N} = 298 \text{ N.}$$

Střední tlak páry p_p ve válcích, působící po celou délku zdvihu, odpovídající požadovanému výkonu, je roven

$$p_p = \frac{4F_p}{\pi D_p^2} = \frac{4 \cdot 298}{\pi \cdot (38 \cdot 10^{-3})^2} \text{ Pa} = 0,26 \text{ MPa.} \quad (4.6)$$

Kotlový tlak p by měl být s ohledem na škrcení v přívodních trubkách, v šoupátkách a průchodem kanály volen nejméně jako dvojnásobek středního tlaku p_p , tj. $p = 0,52 \text{ MPa}$. Pro jízdu lokomotivy s malým plněním válců a pro použití kotle i k jiným parním strojům, je volen tlak vyšší, $p = 1 \text{ MPa}$.

4.2 Spotřeba páry

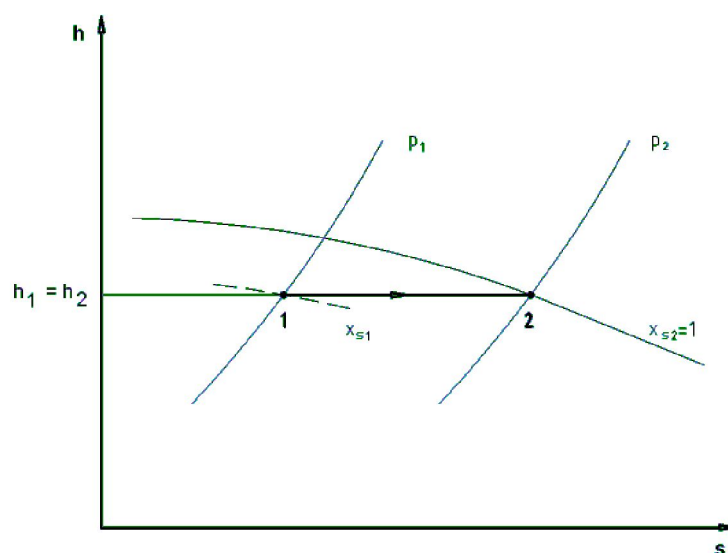
Objem páry V_u za hodinu, potřebný pro jízdu polovinou maximální rychlosti (polovičními otáčkami) při tlaku p_p je roven

$$V = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot d_p^{r-1}}{4} \cdot 2r_p \cdot 60 \frac{1}{u} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 0,038^{22} \cdot 2 \cdot 0,029 \cdot 60 \cdot 218 \text{ m}^3 = 1,7 \text{ m}^3. \quad (4.7)$$

Tomuto objemu, při tlaku $p_p = p_2 = 0,26 \text{ MPa}$, odpovídá hmotnost páry za hodinu při její měrné hmotnosti $p'' = 1,8 \text{ kg/m}^3$ při suchosti $x_{s2} = 1$,

$$m_u = p'' \cdot V_u = 1,9 \cdot 1,7 \text{ kg} = 3,1 \text{ kg}. \quad (4.8)$$

Páru o tlaku $p_p = p_2 = 0,26 \text{ MPa}$ a suchosti $x_{s2} = 1$ lze získat z kotle s tlakem $p = p_1 = 1 \text{ MPa}$ a předpokládané suchosti $x_{s1} = 0,97$ škrcením. (Údaje byly zjištěny z h-s diagramu vodní páry [31]). Tento jev je zobrazen na obr.4.1.



Obr. 4.1 h-s diagram škrcení páry.

Výkon kotle, odpovídající hmotnosti páry m_u za hodinu a entalpii páry při tlaku $p = p_1 = 1 \text{ MPa}$, $h_1 = h_2 = 2730 \text{ kJ/kg}$ při suchosti $x_{s1} = 0,97$, je roven poměru odebraného tepla Q_e a času t_p

$$P_k = \frac{Q_e}{t_p} = W \cdot h_L = V \cdot \frac{2730 - 103}{3600} \text{ W} = 2350 \text{ W}. \quad (4.9)$$

S ohledem na účinnost kotle a spotřebu páry pro ostatní zařízení, je nutné výkon kotle volit v řádově 1,5 až dvojnásobek uvedeného výkonu, volíme tedy $P_k = 4000 \text{ W}$

4.3 Velikost teplosměnných ploch kotle

Namáháním výhřevné (teplosměnné) plochy q_m se nazývá množství páry v kg, odpálené na 1 m^2 za jednu hodinu. Nemá-li trpět kotel a má-li být palivo dokonale spalováno, lze stupňovat namáhání kotle jen do určité míry. Obvykle se uvažuje tato hodnota v mezích $q_m = 30$ až

$$60 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad [19].$$

Pro přímou výhřevnou plochu kotle $S_k = 0,16 \text{ m}^2$, které bylo konstruktivně pro náš kotel dosaženo, vychází takové namáhání pro požadovanou hmotnost odpálené vody $m_u = 3,1 \text{ kg}$ za čas $t = 1 \text{ h}$
$$S_k \cdot t = 0,16 \cdot 1 = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \quad (4.10)$$

což je příznivě nízká dosažená hodnota, kotel bude schopen dodat větší, než požadovaný výkon.

4.4 Velikost plochy roštu

Funkce roštu při spalování [17]:

- vytvářet a udržovat vrstvu paliva požadované tloušťky a prodyšnosti při co nejmenším propadu zrn paliva,
- zajišťovat přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst plochy roštu tak, aby spalování probíhalo s optimální velikostí přebytku vzduchu,
- umožňovat postupné vysoušení, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření zrn paliva,
- shromažďovat, popř. zajišťovat odvod tuhých zbytků po spalování,
- regulovat tepelný výkon podle požadované výkonnosti kotle.

Spalované palivo prochází na roštu postupným sušením, odpalováním prchavé hořlaviny, zapálením, hořením a dohoříváním. U pevných roštů a roštů s pohazováním následují tyto fáze za sebou ve směru výšky vrstvy.

Základní charakteristikou roštu je jeho plošná velikost S_r . Konstruktivně byla dosažena velikost roštu $S_r = 0,02\text{m}$. Pro požadovaný výkon kotle $P_k = 4\text{kW}$, je pro předpokládanou účinnost $\eta_k = 0,5 = 50\%$ měrný tepelný výkon roštového ohniště roven

$$q_r = \frac{P_k}{\eta_k \cdot S_r} = \frac{4}{0,5 \cdot 0,02} \text{ kW/m}^2 = 400 \text{ kW/m}^2. \quad (4.11)$$

Pro kotle s pevným rovinným roštem a při topení černým uhlím se uvádí tento měrný tepelný výkon roven $q_r = 700 \text{ až } 1000 \text{ kW/m}^2$ [17]. Dosažená hodnota je tedy velmi příznivá a umožní kotli dosáhnout požadovaného výkonu i při horším palivu.

4.5 Popis konstrukce kotle malé parní lokomotivy

Základem kotle (výkresy jsou v příloze) je bezešvá trubka $\varnothing 159\text{mm}$ o tloušťce stěny $4,5\text{mm}$. V zadní části trubka přechází do skříňového kotle, jehož stěny jsou z plechu tloušťky 6mm . Vnitřní skříňový kotel - pec, je tvořena plechem tloušťky 4mm . Vzdálenost stěn skříňového kotle a pece je 15mm , to umožní výstup směsi bublin páry a vody vzhůru. To je důležité z toho důvodu, aby pec byla dobře omývána a tím i chlazena. Stěny pece a skříňového kotle jsou vyztuženy rozpěrkami. Rozměry jsou použity podle výpočtů v kapitole 5.

Pro prodloužení dráhy hoření spalin je pec protažena ve spalovací komoru, kterou tvoří bezešvá trubka $\varnothing 108\text{mm}$ o tloušťce stěny 4mm . Tato trubka svým pokračováním vytváří strop pece. Spalovací komora je zakončena pecní trubkovnicí tloušťky 4mm . V trubkovnici jsou čtyři bezešvé trubky $\varnothing 25\text{mm}$ o tloušťce stěny 3mm . Kotel je ukončen dýmnicí trubkovnicí tloušťky 6mm a dýmnicí. Do válcového kotle jsou vevařeny dva parní dómy. Přední je určen k odběru páry pro stroj, zadní slouží jako odběrné místo páry pro napáječe, píšťalu, brzdu. Parní dómy jsou uzavřeny vrchlíky, pomocí šroubů s maticemi. Dále jsou na kotli příruby pro připojení vodoznaků, pojišťovacích ventilů, olovníku, napájecích potrubí, tlakoměru, regulátoru a rozváděcí hlavy.

Kotel je do rámu pevně upevněn pod dýmnicí dvanácti šrouby M3. Pod pecním otvorem je posuvné upevnění dvěma šrouby M6. Posuvné upevnění je nutné pro volnou teplotní dilataci kotle po zatopení a během provozu.

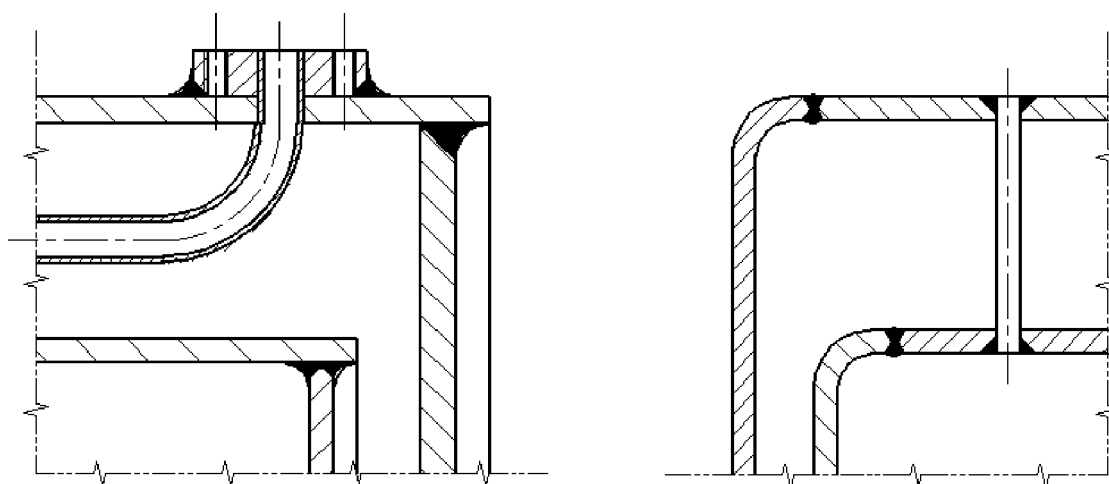
4.6 Popis konstrukčních změn, provedených oproti používaným kotelům modelových lokomotiv

Běžně používané kotle zde reprezentuje kotel Zimmemann z obr.3.3 a 3.4. Oproti tomuto kotli a jiným běžně v modelářství používaným kotelům byly provedeny významné konstrukční změny.

Pec

Pec byla celkově prodloužena. To umožňuje získat větší výhřevnou plochu i plochu roštu a tím větší výkon kotle. Tato úprava umožní navíc posunutí topného otvoru na kraj budky, kde je lepší přístup pro přikládání a úpravu ohně.

Konstrukce připojení stěn pomocí přechodových rádiusů byla změněna na jednodušší tvar spojení stěn ve tvaru písmene T, obr.4.2. Tato úprava zlepšuje technologii výroby, odstraňuje nutnost kování rádiusů v zápustce.



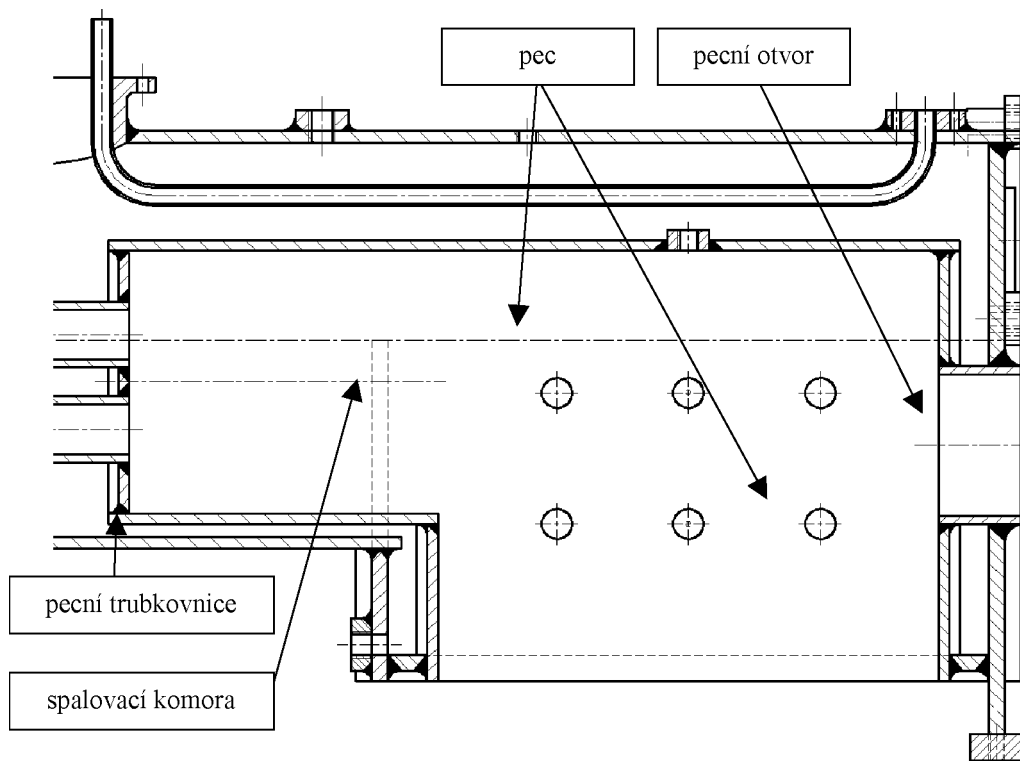
Obr.4.2 Porovnání připojení stěn, vpravo pomocí přechodových rádiusů, vlevo konstrukční úprava.

Pecní otvor

Pecní otvor je zvětšen pro zlepšení manipulace při přikládání a úpravě ohně. Tím, že se tento otvor zvětší, váže na sebe větší část sil od tlaku. Tím se dosáhlo odstranění rozpěrek z dveřnice.

Spalovací komora

Použití spalovací komory, která zvětšuje dráhu pro hoření plamene, v originálním kotli i kotli Zimmermann chybí. Tato úprava umožňuje také prodloužení válcové části nad pec a tak se odstraní plochý strop pece. Proto ho již z pevnostních důvodů není nutné vyztužovat stropními rozpěrkami, protože válcové části odolávají tlaku dobře.



Obr.4.3 Konstrukce pece a spalovací komory.

Dýmnice

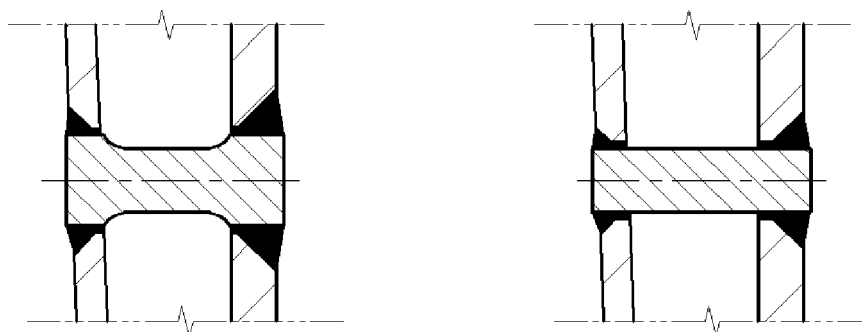
Dýmnice byla pro zjednodušení přímo přivařena ke kotli, místo použití šroubovaného spoje u kotle Zimmermann.

Rozpěrky

Přibližně čtyřicet mezistěnových a stropních rozpěrek je nahrazeno dvanácti bočními rozpěrkami. Ručky v trubkovnicích, na dveřnici pece jsou odstraněny úplně, rovněž tak stropní rozpěrky. Zvláště u stropních rozpěrek by se mělo používat

kloubových rozpěrek (lépe se přizpůsobují zatížení), ty jsou však navíc výrobně náročné a tak je jejich odstranění o to více výhodné.

Pro rozpěrky byl použit tvar, který je výhodný pro přivaření, protože zvětšuje plochu připojení, porovnání s předchozím stavem je na obr. 4.4.



Obr.4.4 Původní tvar rozpěrky (vpravo), vlevo konstrukční úprava.

Trubky

Dvacet devět kotlových trubek malého průměru bylo nahrazeno pouze čtyřmi trubkami se silnější stěnou. U trubek malého průměru se jejich vnitřek zanáší dehtem a zplodinami hoření. Větší rozměr trubek umožní jejich snazší čištění a možné zabudování pehíva e. P vodní metoda upevnění trubek, zaválcování, není spolehlivá z důvodu tečení. Zaválcování bylo nahrazeno zavařením. Původní tenké stěny trubek mají nevýhodu ve snadném prorezivění. Trubky většího průměru mají menší hydraulický odpor při proudění spalin a v kotli bude možný větší tah.

Parní dóm

Pro zvětšení parního prostoru byly použity dva parní dómy, v originále je pouze jeden. Vzhled lokomotivy to neovlivní, dóm je zastavěn do místa bývalého písečníku, který byl s ohledem na charakter provozu lokomotivy zrušen.

Vymývací otvory

Vymývací otvory umožňují odstraňování kotelního kamene. V použité konstrukci byly zrušeny a navrženo napájení kotle mkkou (dešovou) vodou.

5 Výpočet pevnosti kotle

Z celků, které jsou popsány v tomto odstavci, byly jako nejvíce namáhané díly vybrány rovné stěny vyztužené, které jsou součástí pece, skříňového kotle a trubkovnic a rozpěrky, které tyto stěny vyztužují. Ostatní součásti, jako trubky, válcový kotel a plamenec (spalovací komora), mají vzhledem k tloušťkám stěn obdobných jako u rovných stěn, svoje namáhání daleko menší a jejich výpočet je proveden pouze MKP.

5.1 Výpočet napětí částí kotle podle norem

Výpočet podle [13], část 3, kapitola 6.

Výpočtová teplota

Výpočtová teplota t_c je střední teplota kotlového tahu. Pro teplotu pece se použije odstavec e), Výpočtová teplota plamence. V případě plamence vystavených působení plamene a tepelnému příkonu $< 12\text{MW}$

$$t_c = t_s + 4e + 15 \quad (5.1)$$

Dosažením do 5.1 dostaneme

$$t_c = (184 + 4 \cdot 4 + 15)^\circ\text{C} = 215^\circ\text{C}.$$

Pro získání větší bezpečnosti použijeme doporučení z dřívější normy [2], část 1, kde je t_c voleno min. 250°C . Tato hodnota je zvolena i s ohledem na materiál olovníků (teplota tavení).

Dovolené konstrukční namáhání

Pokud není v této části této evropské normy uvedeno jinak, je dovoleným konstrukčním namáháním /nižší z hodnot vypočtených podle této rovnice:

$$f = \min \left\langle \frac{R_{p0,2tc}}{1,5}, \frac{R_m}{2,4} \right\rangle. \quad (5.2)$$

Dosažením do 5.2 dostaneme

$$f = \min \left\langle \frac{167}{1,5}; \frac{350}{2,4} \right\rangle \text{MPa} = \min \langle 111; 146 \rangle \text{MPa} = 111 \text{MPa}.$$

Termín „dovolené konstrukční namáhání“, označovaný symbolem f znamená namáhání, které se použije ve zde uvedených rovnicích pro návrh částí namáhaných

tlakem. Podobná konstrukční pravidla, uvedená v této části, budou udržovat skutečná nejvyšší namáhání v přijatelných mezích, které platí pro daný typ namáhání.

Tloušťka rovných stěn

Je použit výpočet podle [13], část 3, kapitola 10.

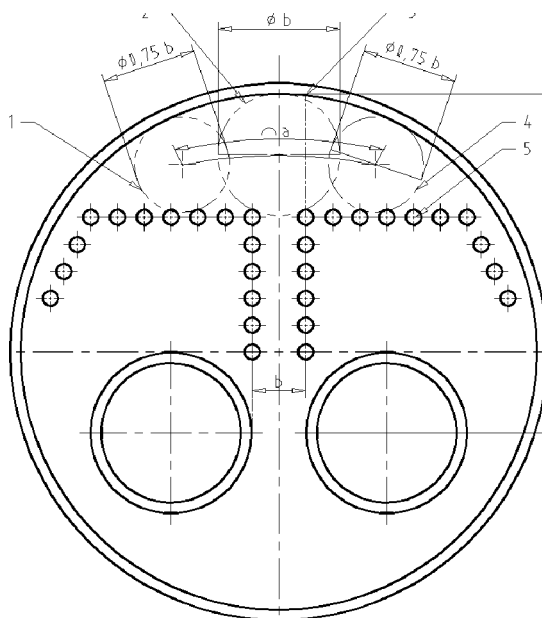
Tloušťka těchto plochých den, podepřených rozpírkami, musí být stanovena podle těchto rovnic:

$$e_{pa} = e_{ch} + c_1 + c_2, \quad (5.3)$$

$$e_{ch} = c_4 \cdot b \cdot y \sqrt{\frac{p_c}{f}}. \quad (5.4)$$

V případě ploch, vymezených kružnicemi, které procházejí čtyřmi nebo více rovnoměrně rozloženými podpěrnými body, musí být použito $y = 1$.

V případě nevyztužených ploch pravoúhlého tvaru musí být použity rozměry a a b podle obr. 5.1.



1 Vedlejší kružnice, 2 Hlavní kružnice, průměr b , 3 Nevyztužená pravoúhlá plocha, 4 Vedlejší kružnice, 5 Rozpírné trubky

Obr. 5.1 Použití hlavních a vedlejších kružnic.

Pro pec tloušťky stěny 4mm bylo konstruktivně dosaženo rozměru $b = 50mm$, pro vnější plášť kotle tloušťky 6mm $Ob = 85mm$. Dosazením těchto hodnot do vztahu 5.4 dostaneme

$$e_{ch} = c_4 \cdot b \cdot y \sqrt{\frac{p_c}{f}} = 0,33 \cdot 50 \cdot 1 \sqrt{\frac{1}{111}} mm = 1,6 mm,$$

$$e_{ch} = c_4 \cdot b \cdot y \sqrt{\frac{p_c}{f}} = 0,33 \cdot 85 \cdot 1 \sqrt{\frac{1}{111}} mm = 2,7 mm.$$

Konstanta c_4 je vzata z normy pro plechy plochých nepřírbových den (pro poměr tloušťky dna a tloušťky plechu bubnu et/e_s do 1,4, tedy $c_4 = 0,33$). Pro pec tedy vychází celkový přídavek na korozi ($c_1 + c_2$) 2,4mm, pro vnější plášť 3,3mm.

Rozpěrky rovných stěn

Dovolené namáhání rozperek (plných nebo jiných), vypočtené na prázecové ploše, nesmí překročit $80N/mm^2$. Průměr libovolné rozpěrky nesmí být menší než 20mm (tento průměr v našem případě tedy nelze dodržet).

U tyčové rozpěrky musí být podepřenou plochou plocha vymezená úsečkou procházející středy úseček, které spojují rozpěrky a sousední podpěrný bod, bez plochy zahrnutých libovolných trubek nebo rozperek.

V našem případě je tedy maximální podepřenou plochou obdélník 50x57mm.

Síla připadající na 1 výztuhu

$$F = S \cdot p. \quad (5.5)$$

Za plochu S se dosazuje největší plocha připadající na jednu výztuhu.

$$S = 50 \cdot 57 \text{ mm}^2 = 2,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, p = 1 \text{ MPa},$$

$$F = S \cdot p = 2,85 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ N} = 2850 \text{ N}.$$

Nejmenší průřez tyče, trubky nebo rozpěrky

$$S = F. \quad (5.6)$$

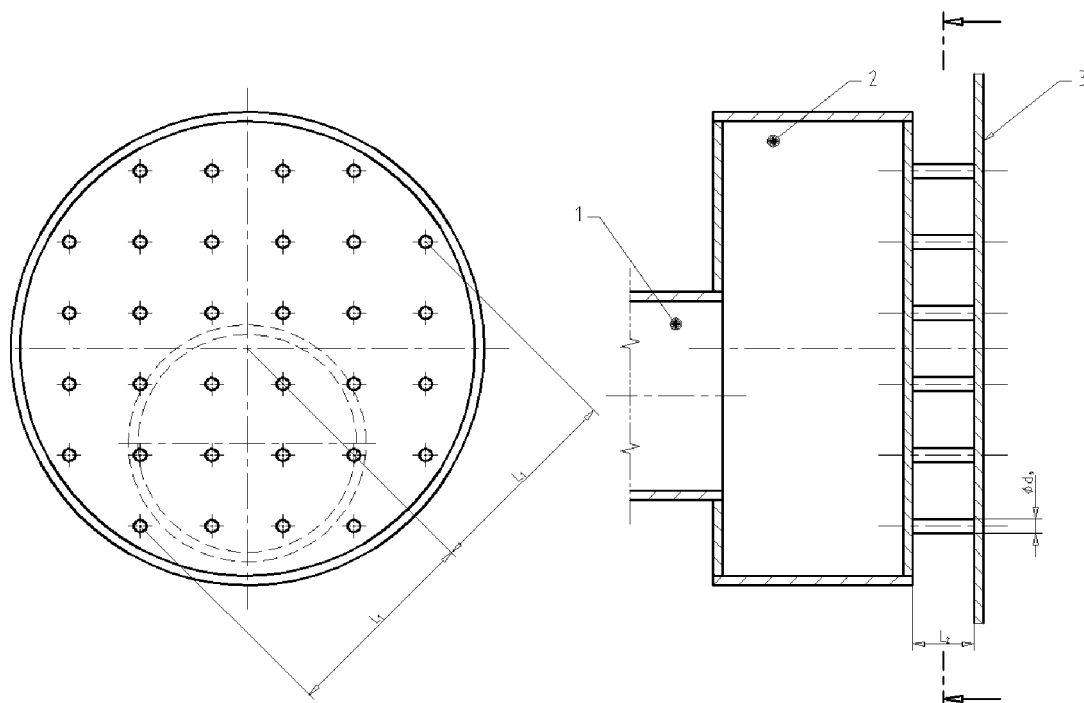
Průřez S_1 se určuje z rozměnění výztuhy po odečtení přídavku c . Dosazením získáme

$$\frac{F}{f} \sim \frac{2850}{80} \text{ mm}^2 = 36 \text{ mm}^2.$$

Odečteme od této plochy tedy plochu kontrolního vývrtu 01,5mm, tj. 1,8mm . Výsledný rozměr odpovídá 06,6mm. Při volbě konečného rozměru 08,5mm vychází přídavek na korozi tloušťky $c = 0,95\text{mm}$.

Rozpěrky musí splňovat toto pravidlo (na obr. 5.2):

$$\frac{d_s \cdot L}{L_2^2} \leq 2. \quad (5.7)$$



1. Plamenec, 2. Vratná komora, 3. Dno.

Obr. 5.2 Rozmístění rozpěrek.

Konstruktivně bylo dosaženo $0d_s = 8,5\text{mm}$, $L_1 = 50\text{mm}$, $L_2 = 17\text{mm}$.

Dosazením do 5.7 dostaneme

$$\frac{d_s \cdot L}{L_2^2} = \frac{8,5 \cdot 50}{17^2} = 1,48 < 2.$$

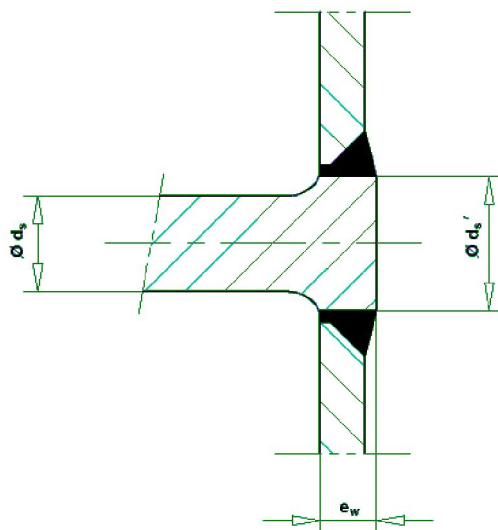
a podmínka je tedy splněna.

Rozměry musí být zvoleny tak, že smyková průřezová plocha svaru se rovná nejméně 1,25 násobku průřezové plochy rozpěrky. To znamená, že musí platit nerovnice

$$n \cdot d_s \cdot e_w > 1,25 \quad (5.8)$$

Dosažením do 5.8 dostaneme pro geometrii rozpěrky a stěnu 4mm

$n \cdot 12 \cdot 5 > 1,25$ —, $188,5 > 70,9$, což platí. Pro stěnu tloušťky 6mm je tento výplet ještě příznivější.



Obr. 5.3 Detail geometrie přivaření rozpěrky.

5.2 Optimalizace tvaru rozpěrky

V následující části je uvedena metoda výpočtu optimálního tvaru rozpěrky. Tato optimalizace sleduje zmírnění extrémního namáhání tohoto dílu, který se v kotli vyskytuje poměrně často. Optimalizace je provedena pomocí MKP.

Rozpěrka je svým tvarem přirozený koncentrátor napětí. Působí mezi stěnami kotle jako svorník a tím stěny vyztužuje, zabraňuje jim, aby se vybořily. Sama je namáhána tahovou silou, která odpovídá velikostem ploch st n, které jsou k ní připojeny. Je také namáhána ohybovým momentem, který vzniká, když dochází k vzájemným posunutím připojovacích míst.

Popis optimalizace

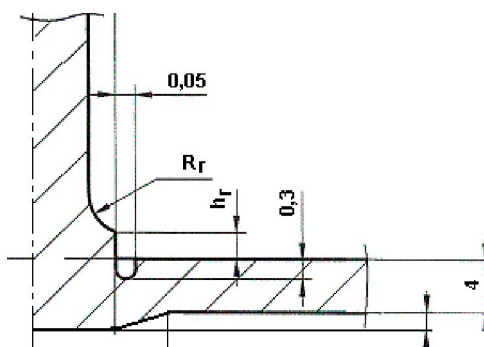
Na základě rozmění rozpěrky z kapitoly 4, byl sestaven výpočtový model v prostředí ANSYS. Na základě toho, že tvar rozpěrky je osově souměrný, byl

výpočtový model sestaven tak, aby bylo možné využít tuto symetrii. Tato úprava nám umožní výrazné zkrácení výpočtového času. Další vlastností výpočtového modelu je jeho parametrickost. Změnou několika parametrů se výpočtový model přizpůsobí požadovaným rozměrům. Tímto jednoduchým způsobem můžeme na jediném modelu provést několik desítek výpočtů, odpovídajícím rozměrově odlišným modelům. Tyto výpočty a jejich výsledky lze pak porovnat, např. pomocí grafů. Příběhy grafů nám potom ukážou tendence, které se změnou rozměrů projevují. Takto nalezneme optimum parametrů, které se použijí jako konstrukční rozměr rozpěrky.

Geometrické rozměry rozpěrky

Tvarově je zde rozpěrka prezentována jako osazený dřík o $\varnothing 8,5\text{mm}$, který přechází poloměrem R_r do základny o $\varnothing d_s$. Základna je jednostranným W svarem připojena ke kotlové stěně o tloušťce 4mm. Výchozí rozměry rozpěrky jako základu pro sestavení výpočtového modelu, ukazuje obr. 5.4. Geometrické rozměry byly zjištěny na základě 5 zkušebních rozperek, které byly zavařeny do kusu plechu a proveden ez rozpěrkou. Je vzat v úvahu nejhorší nalezený stav z provedených řezů. Pro zjednodušení je uvažována situace jen u jedné připojené stěny.

$\varnothing d_s$

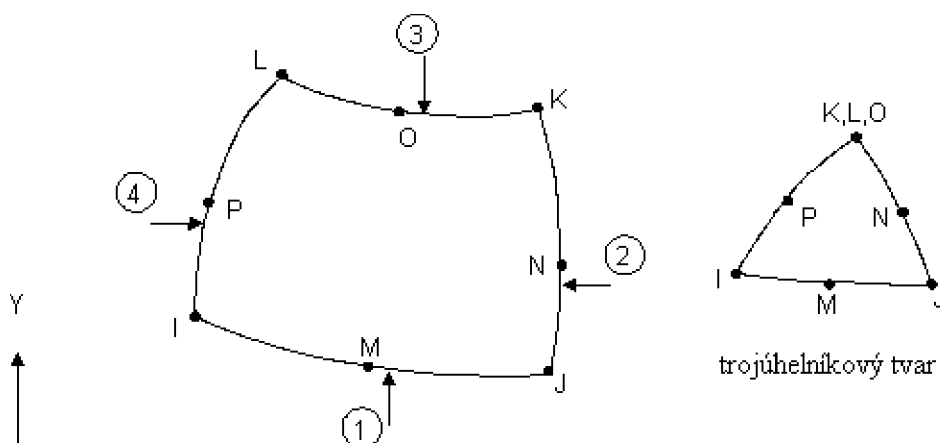


020

Obr.5.4 Rozměry a parametry rozpěrky.

Parametry výpočtu MKP

- Prvek PLANE82 (obr. 5.5) s volbou vlastností 1 = osově souměrný model. Pro tento typ výpočtu se jako osy symetrie používá osa Y.
- Modul pružnosti $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.
- Poissonovo číslo $\nu = 0,3$.
- Lineární výpočet, řešič PCG.



Obr. 5.5 Prvek PLANE82.

Prvek PLANE82 má uzly nejen v rozích (označují je body I,J,K,L), ale i na stranách (strany jsou označeny čísla v kroužcích, 1 až 4, uzly jsou označeny M,N,O,P). To umožňuje lepší přizpůsobení prvku tvaru geometrie a tím lépe vystihuje skutečný tvar součásti. Ve výjimečných případech se může tento prvek změnit na trojúhelníkový tvar.

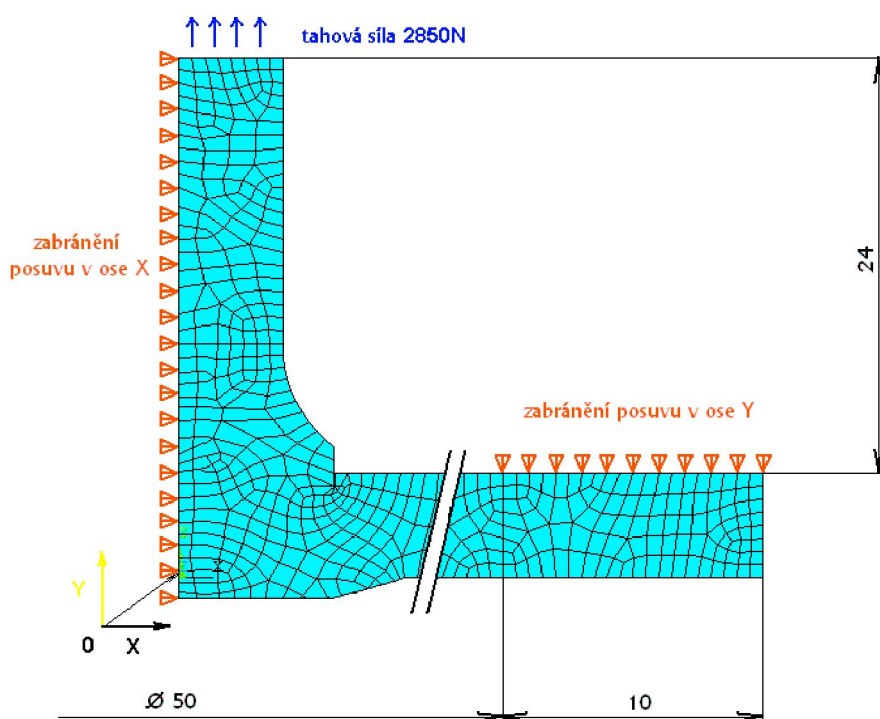
Analýza zatížení

Skutečná připojená plocha, přináležející k rozpěrce, je obdélník o rozměru 50x57mm. K této ploše přísluší tahová osová síla 2850N. Dalším zatížením je ohybový moment, vznikající ze vzájemného posunutí připojovacích bodů. Tento moment však předem neznáme. Ohybový moment však způsobuje namáhání ve stejném směru, jako působí tahová síla, a naopak, proto jeho účinky budou obdobné.

Tvar sítě, okrajové podmínky

Z výpočtových důvodů pro použití osově souměrného modelu, je obdélníková část 50x57mm nahrazena kruhem o $\varnothing 50\text{mm}$. Tahová síla 2850N je zachována. Tato

úprava metodu optimalizace neovlivní, protože tuhost obou obrazců ve vztahu k připojení rozpěrky je obdobná. Dále k oblasti o 50mm přiléhá další oblast, prstenec šířky 10mm. Uzlům na jedné ze stěn prstence je zamezen pohyb ve (svislé) ose Y. Tato část stěny tak slouží pro zachycení působící osově síly 2850N. Je dostatečně vzdálena od rozpěrky, takže svým působením neovlivní velikost napětí v připojení rozpěrky. Pokud vznikne zvýšení napětí v oblasti prstence, není nutno k němu z hlediska posouzení výsledků přihlížet. Toto zvýšení napětí je způsobeno zamezením pohybu uzlu. Další okrajovou podmínkou je zamezení pohybu ve směru osy X pro ty uzly, které leží na ose Y - uplatnění osové symetrie. Na obr. 5.6 je zobrazen tvar sítě prvků a použité okrajové podmínky.



Obr. 5.6 Tvar sítě a použité okrajové podmínky, zatížení.

Parametry geometrie

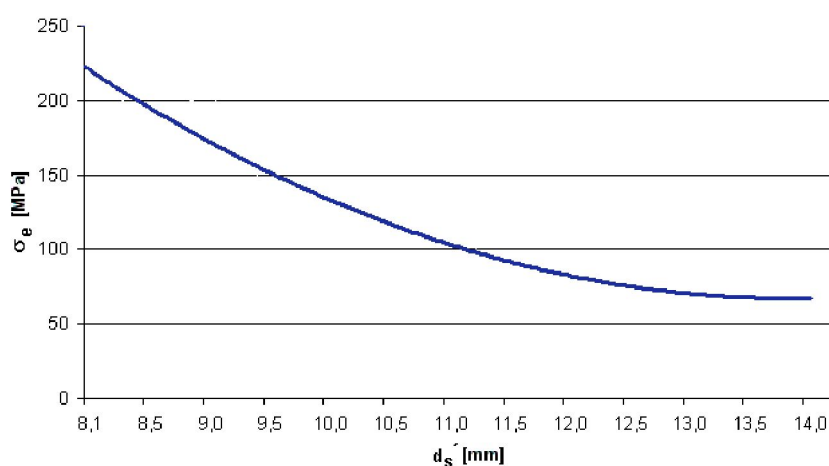
Jako parametrů geometrie byly zvoleny následující rozměry:

- d_s . Tento parametr reprezentuje průměr díry ve stěně, do které se bude vařit rozpěrka. Znázornění výsledků výpočtu napětí σ_e v závislosti na parametru d_s uvádí graf na obr. 5.7.

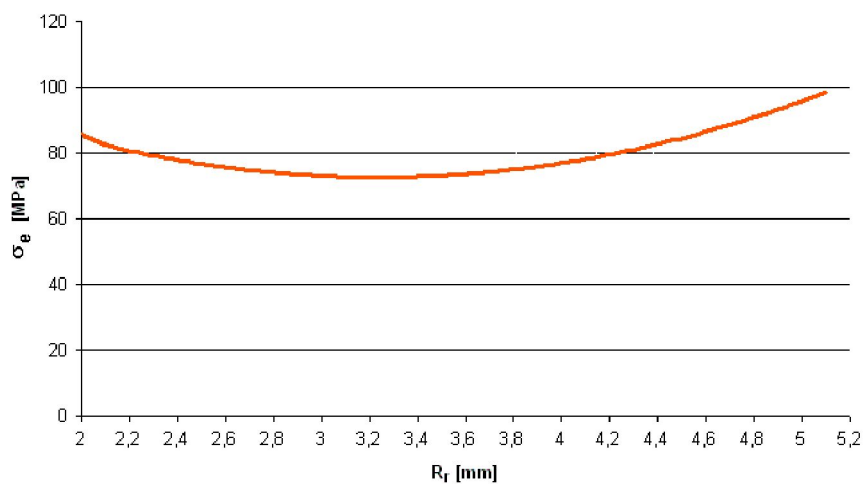
- R_r . Tento parametr reprezentuje „štíhlost“ přechodu základnové části rozpěrky a dříku. Znázornění výsledků výpočtu napětí σ_e v závislosti na parametru R_r uvádí graf na obr. 5.8.
- h_r . Tento parametr reprezentuje výšku přesazení základnové části rozpěrky nad stěnou. Znázornění výsledků výpočtu napětí σ_e v závislosti na parametru h_r uvádí graf na obr. 5.9.

Interval použitých velikostí jednotlivých parametrů je vždy patrný z grafů.

Zhodnocení výsledků



Obr. 5.7 Graf závislosti napětí HMH a_e na parametru d_s .



Obr. 5.8 Graf závislosti napětí HMH a_e na parametru R_r .

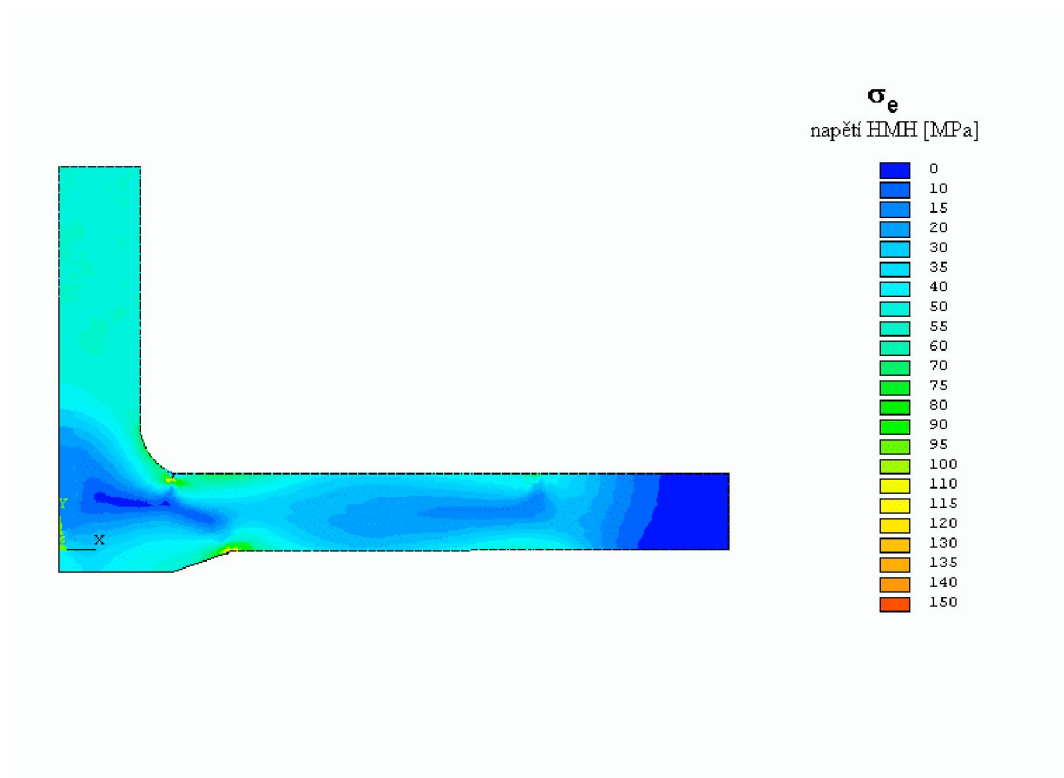
Obr. 5.9 Graf závislosti napětí H_{MH} a e na parametru h_r .

Z hlediska parametrů má největší vliv na velikost napětí $0 d_s$. Se zvětšující se velikostí tohoto parametru napětí v daném místě klesá. To je přirozené, protože se zvětšením tohoto parametru se plocha připojení rozpěrky zvětšuje. Podle tohoto výpočtu a z hlediska technologie bude pro konstrukci připojení zvolen $0 d_s$ roven $12mm$.

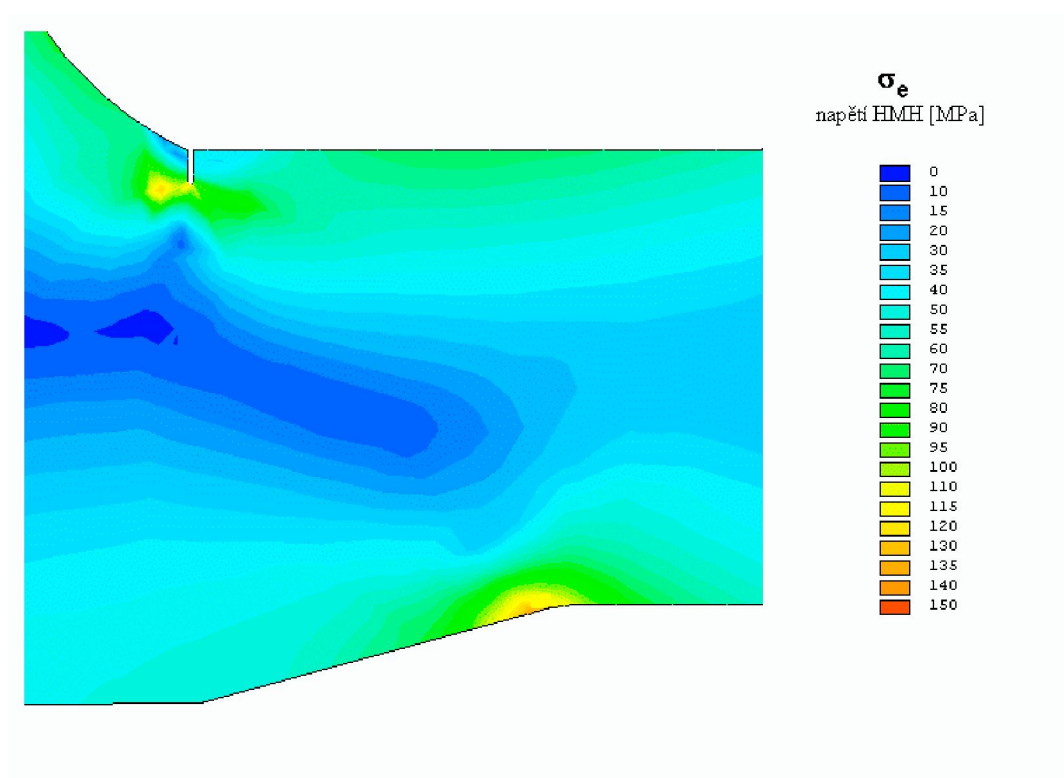
Další z parametrů, který má vliv na napětí, je poloměr přechodu R_r . Bude zvolena hodnota, která odpovídá minimu napětí, tj. R_r rovno $3mm$.

Poslední z parametrů, h_r , má na výsledné napětí vliv malý. Bude zvolena hodnota $0mm$. Tato malá citlivost je i zároveň výhodou při montáži rozpěrky, tento parametr může mít větší montážní toleranci.

Z výsledků výpočtů vyplývá to, že maximum napětí se vždy objevuje v místě neprovařeného kořene rozpěrky. Podle [26] je kritériem pro posuzování mezního napětí v konstrukci dovolené napětí f číselně pak to je $f = 111MPa$. Pouze místně jsou tato napětí překročena, plochy s větším namáháním jsou minimální. Napětí v dřících jsou okolo $50MPa$. Dovolené namáhání pro dřík rozpěrky je podle části 5.1 $f = 80MPa$, což také není překročeno. Názorně to je ukazují na obrázky 5.10 a 5.11.



Obr. 5.10 Napětí v pmřezu rozpěrky a stěny.



Obr. 5.11 Napětí v pmřezu rozpěrky a stěny - detail.

5.3 Výpočet teplot ve stěnách

Pro výpočet namáhání od teplotních rozdílů v provozu nádoby je nutno stanovit povrchové teploty stěny. Děje se tak buď výpočtem, nebo měřením.

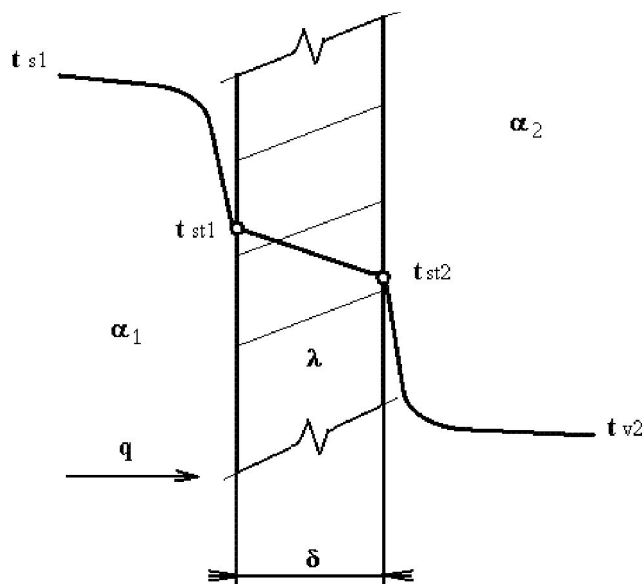
Namáhání nezávisí na absolutní teplotě vnitřního nebo vnějšího povrchu stěny, nýbrž na změnách teploty od místa k místu a na teplotním spádu v tloušťce stěny. Pro výpočet se obvykle předpokládá ustálený tepelný stav. U většiny nádob nejsou teplotní pnutí v ustáleném stavu nebezpečná.

V provozu nejsou však teploty ustáleny a vlivem kolísání teplot a odstavování tlakové nádoby z provozu má přidavné namáhání od teplotních rozdílů charakter namáhání opakovaného. Teplotní pnutí nelze v přechodových stavech zpravidla spolehlivě vypočítat pro neznalost teplotních nestacionárních polí a neznalost místního průběhu teplot v tloušťce stěny.

U tlustostěnných nádob je nutno vždy uvažovat přidavné namáhání vyvolané teplotními rozdíly v tloušťce stěny. Zvětšováním tloušťky stěny klesá sice nominální namáhání od vnitřního přetlaku, stoupá však namáhání od teplotních rozdílů. Proto není správné bez příčiny zvětšovat tloušťku stěny nádoby. Správnější je volit kvalitnější materiál pro výrobu pláště, než používat tlustostěnných konstrukcí.

Rozdělení celkového děje šíření tepla na elementární jevy - kondukci, konvekci a radiaci - má vlastně jen teoretický význam. Ve skutečnosti probíhají tyto jevy současně a vzájemně se ovlivňují, např. konvekce je vždy doprovázena kondukcí a často i radiací; při kondukcí v pórovitých hmotách nastává konvekce a radiace v pórech; radiace je doprovázena kondukcí a konvekcí.

V praktických výpočtech je nutné rozdělení těchto složitých dějů na jevy elementární. Výsledek současného působení několika jednotlivých elementárních způsobů sdílení tepla se obvykle vztahuje na jeden z nich, který považujeme za základní.



Obr. 5.12 Schéma teplot při prachodu tepla stěnou.

Pro výpočet teplotních poměrů v teplosměnných plochách a určení součinitelů přestupu tepla byl vzat obr. 5.13 podle [17] str. 620.

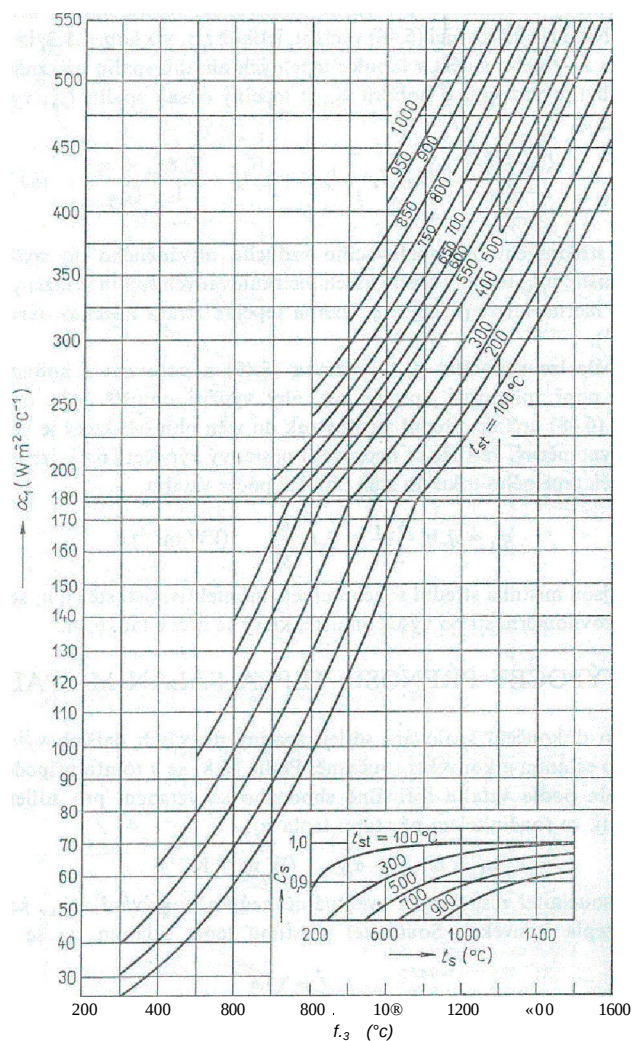
Teplosměnné plochy byly rozděleny na přímou výhřevnou plochu $S_k = 0,16m$ (plocha pece, spalovací komory, pecní trubkovnice) a nepřímé výhřevné plochy $S_k = 0,06m$ (plocha trubek).

Předpokládáme, že veškerý tepelný tok se přenesse pouze přímou výhřevnou plochou a bude tedy roven

$$q = \frac{P}{S_k} = \frac{4000}{0,16} \text{ W/m}^2 = 25 \text{ kW/m}^2. \quad (5.9)$$

Stejná velikost tohoto tepelného toku musí projít postupně ze spalín do stěny (tato část je charakterizována změnou teplot z t_{sj} na t_{st1}), stěnou (změna teplot z t_{st1} na t_{st2}) a projít ze stěny do vody (změna teplot z t_{st2} na t_{v2}). Protože je známa pouze teplota t_{v2} , je proveden výpočet proti směru toku tepla.

Pro stanovení velikosti tepelného toku q' pro nepřímou výhřevnou plochu je použit graf z obr. 5.13, podle [17] str. 620. Podle tohoto grafu jsou porovnávány teploty spalín a součinitele přestupu tepla, příslušející přímé a nepřímé výhřevné ploše. Teploty spalín jsou převzaty z [30], str. 77.



Obr. 5.13 Součinitel přestupu tepla α_j .

Přímá výhřevná plocha

teplota spalin $t_s = 1000\text{ °C}$, teplota stěny $t_{st} = 200\text{ °C}$; $\alpha_j = 165\text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Nepřímá výhřevná plocha

teplota spalin $t_s' = 300\text{ °C}$, teplota stěny $t_{st} = 200\text{ °C}$; $\alpha_j = 30\text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Velikost tepelného toku q je rovna

$$q = \frac{\alpha_j}{\alpha_1} q = \frac{30}{165} 25\text{ kW/m}^2 = 4,5\text{ kW/m}^2. \quad (5.10)$$

Vzhledem k pětinovému tepelnému toku a třetinové nepřímé ploše, vztaženo k přímé výhřevné ploše, je tepelný přenos nepřímé výhřevné plochy nepatrný.

Tepelný tok ze stěny do vody - přímá výhřevná plocha

Tepelný tok mezi stěnou a vodou (konvekce) je vyjádřen vztahem

$$q = a_2 \cdot (t_{st2} - t_{v2}) \quad (5.11)$$

t_{v2} [°C] teplota vody v kotli, tj. teplota vody při $p = 1 \text{ MPa}$, $t_{v2} = 183,9^\circ\text{C}$,

t_{st2} [°C] teplota stěny kotle z vodní strany,

a_2 [W/(m²K)] součinitel přestupu tepla.

Součinitel a_2 je podle [17] str. 512 pro vroucí vodu $a_2 = 10\,000 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Úpravou (5.11) získáme vztah pro t_{st2}

$$t_{st2} = \frac{q}{a_2} + t_{v2} = \frac{10}{10} ^\circ\text{C} + 183,9^\circ\text{C} = 186,4^\circ\text{C}. \quad (5.12)$$

Tepelný tok stěnou - přímá výhřevná plocha

Tepelný tok stěnou (kondukcí) je vyjádřen vztahem

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{stj} - t_{st2}),$$

(5.13)

kde je

λ [W/(mK)] tepelná vodivost materiálu, ocel $\lambda = 54 \text{ W/(mK)}$,

δ [m] tloušťka stěny, $\delta = 0,004 \text{ m}$,

t_{stj} [°C] teplota stěny kotle ze strany spalín.

Úpravou (5.13) získáme velikost teploty stěny ze strany spalín t_{stj} ,

$$t_{stj} = q \cdot \frac{\delta}{\lambda} + t_{st2} = 25 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,004}{54} ^\circ\text{C} + 186,4^\circ\text{C} = 188,3^\circ\text{C}. \quad (5.14)$$

Tepelný tok z ohně do stěny - přímá výhřevná plocha

Tepelný tok q ze spalín do stěny je roven velikosti ze vztahu 5.9, tedy $q = 25 \text{ kW/m}^2$.

Tepelný tok ze stěny do vody - nepřímá výhřevná plocha

Dosadíme do upraveného vztahu 5.11, veličiny jsou pro nepřímou výhřevnou plochu ('):

t_{v2} [°C] teplota vody v kotli, tj. teplota vody při $p = 1 \text{ MPa}$, $t_{v2} = 183,9^\circ\text{C}$,

t_{st2} [°C] teplota stěny kotle z vodní strany,

a_2 [W/(m²K)] součinitel přestupu tepla.

$$t_{st2}' = \frac{q}{\alpha_2} + t_{v2}' = \frac{8,3 \cdot 10^3}{10^4} {}^\circ\text{C} + 183,9 {}^\circ\text{C} = 184,4 {}^\circ\text{C}. \quad (5.15)$$

Tepelný tok stěnou - nepřímá výhřevná plocha

Dosadíme do upraveného vztahu 5.13, pro veličiny jsou pro nepřímou výhřevnou plochu ('):

X [W/(mK)] tepelná vodivost materiálu, ocel $X = 54 \text{ W/(mK)}$,

δ [m] tloušťka stěny, $\delta = 0,003\text{m}$,

t_{sti} [°C] teplota stěny kotle ze strany ohně.

$$t_{sa} = q \frac{\delta}{X} + t_{s2}' = 4,5 \cdot 10^{-3} {}^\circ\text{C} + 184,4 {}^\circ\text{C} = 184,7 {}^\circ\text{C}. \quad (5.16)$$

Tepelný tok z ohně do stěny - nepřímá výhřevná plocha

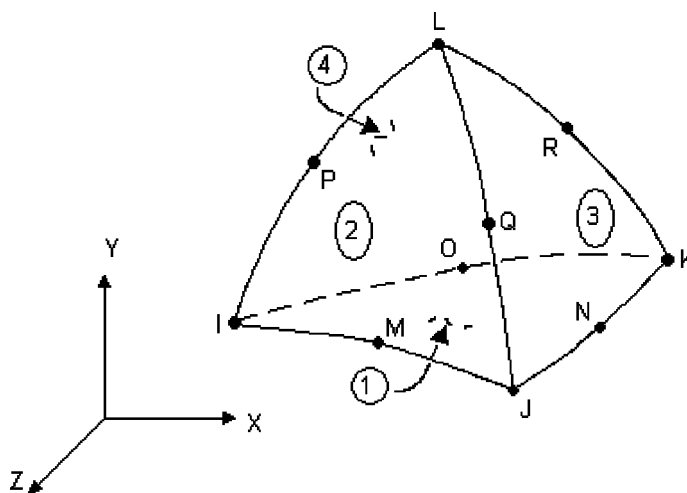
Tepelný tok q ze spalín do stěny je roven velikosti ze vztahu 5.10, tedy $q = 4,5 \text{ kW/m}^2$.

5.4 Výpočet teplot ve stěnách pomocí MKP

Kotel byl namodelován ve 3D modeláři ProEngineer Wildfire podle výkresu a převeden do prostředí Ansys. Nebyly modelovány části kotle pro výpočet nepodstatné, jako je dýmnice a připojovací místa armatur. Geometrie rozpěrek byla zjednodušena na válcové drážky o $08,5 \text{ mm}$.

Na modelu byla nejprve provedena teplotní analýza, rozložení teplot v jednotlivých uzlech sítě.

Použitým prvkem je SOLID87, prvek pro analýzu teplotních polí. Písmeny I až Q jsou označeny uzly a číslicemi čtyři stěny. Uzly jsou nejen v rozích elementu, ale i uprostřed hran a tak tento prvek lépe popisuje tvarově složitou geometrii. Písmena X, Y, Z označují souřadný systém prvku, obr. 5.14.



Obr. 5.14 Prvek SOLID 87.

Vstupní parametry byly použity pro použití délkových jednotek $[mm]$, které se běžně používají ve strojírenství, i v prostředí MKP.

Okrajové podmínky

Součinitel přestupu tepla ze stěny do vody, $a_2 = 10\,000\text{--}10^6\text{ W/(mm}^2\text{K)}$ při teplotě $t_{v2} = 183,9\text{ }^\circ\text{C}$, aplikován všude tam, kde se voda (pára) stýká s se stěnami kotle, $t_{v2} = 183,9\text{ }^\circ\text{C}$, počáteční teplota všech ostatních uzlů. Dále pak pro plochy:

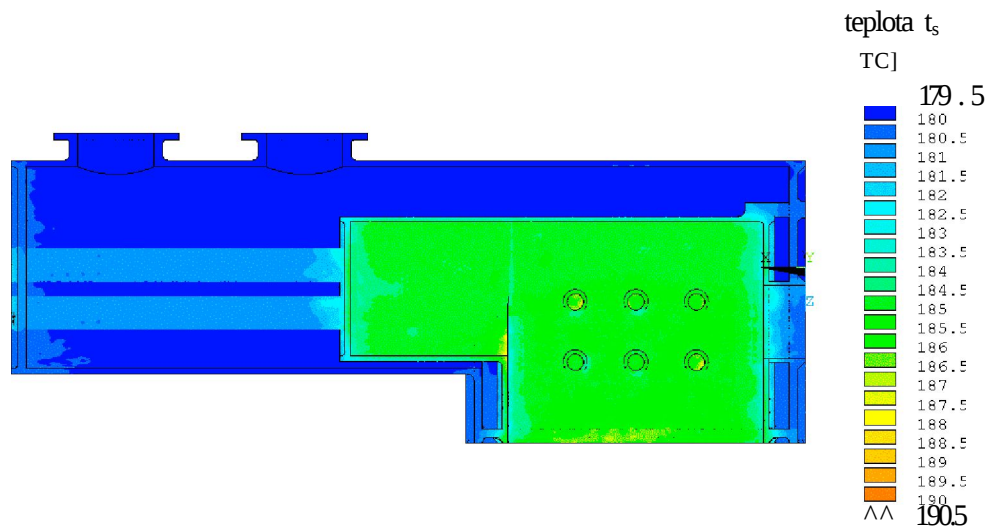
Přímá výhřevná plocha

Tepelný tok $q = 25\,10^{-3}\text{ W/mm}^2$ aplikován na vnitřní stěny pece a spalovací komory.

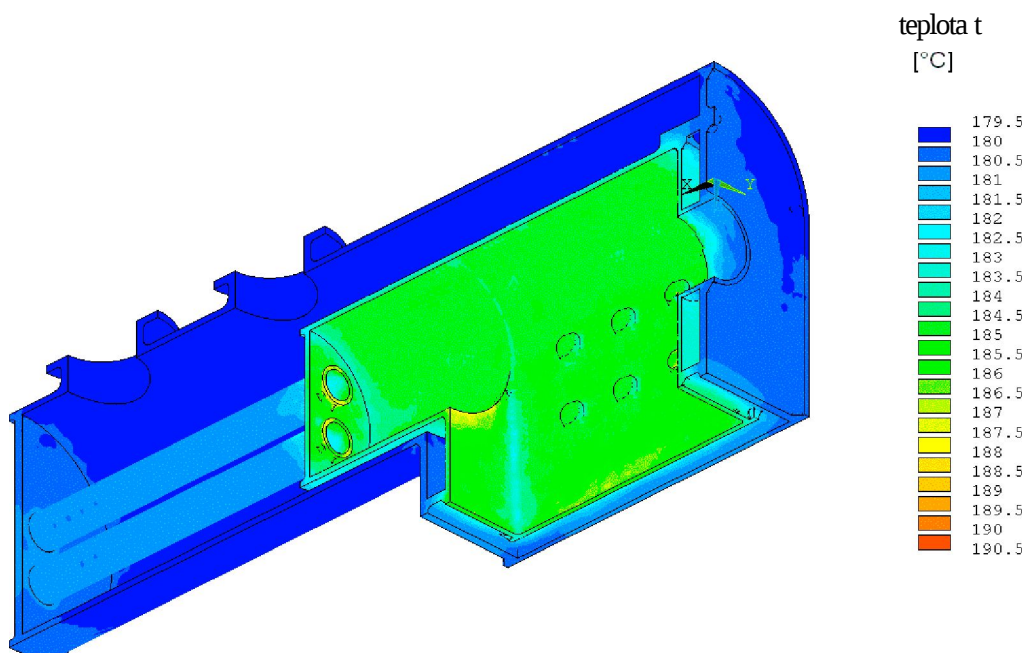
Nepřímá výhřevná plocha

Tepelný tok $q' = 4,5\,10^{-3}\text{ W/mm}^2$ aplikován na vnitřní stěny kornových trubek, bez dýmniční trubkovnice.

Po provedené statické analýze je rozložení teplot v kotli na obr. 5.15 a 5.16.



Obr. 5.15 Rozložení teplot v kotli.



Obr. 5.16 Rozložení teplot v kotli.

Rozložení teplot odpovídá provedenému výpočtu v části 5.3. Místa geometrických přechodů - rohů, hran, vykazují teploty nepatrně vyšší.

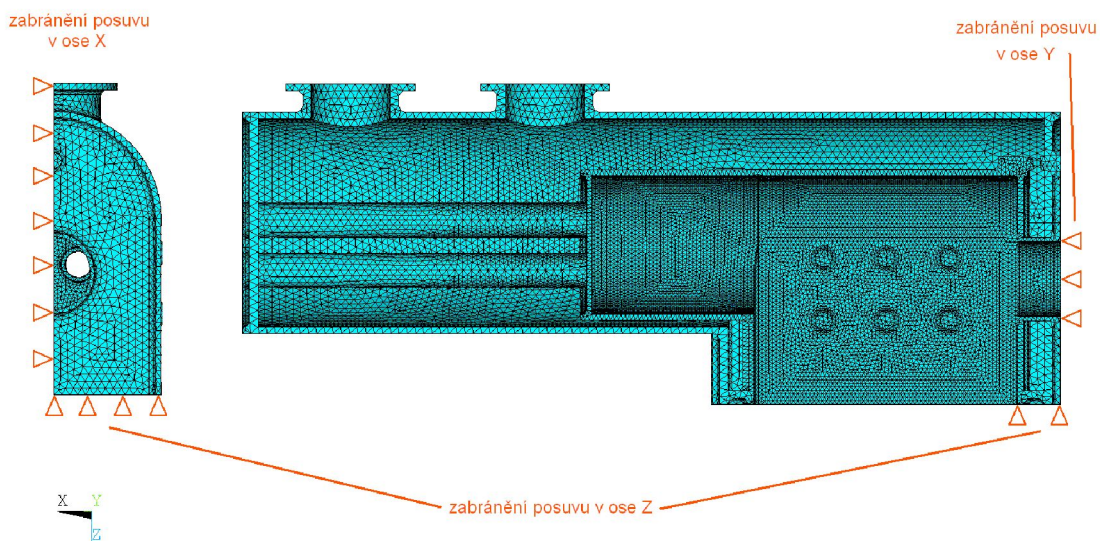
5.5 Výpočet pevnosti kotle pomocí MKP - teplotní zatížení

Z části 5.4 byly vzaty teploty z uzlů a použity pro další výpočet. Teplotní výpočtový prvek SOLID87 byl změněn na strukturální SOLID92. Tvar a označení uzlů, stěn ad. tohoto prvku, zůstávají stejné.

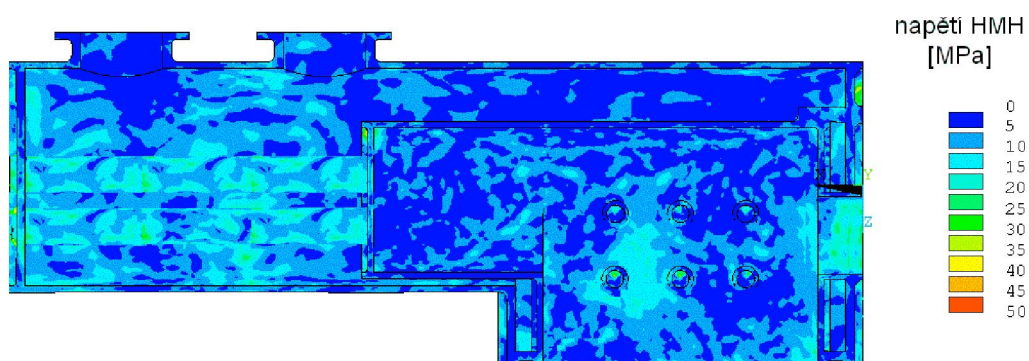
Okrajové podmínky tohoto výpočtu jsou patrné z obr. 5.17. Zabránění posuvu uzlů v ose X reprezentuje souměrnost modelu v rovině YZ.

Parametry výpočtu MKP

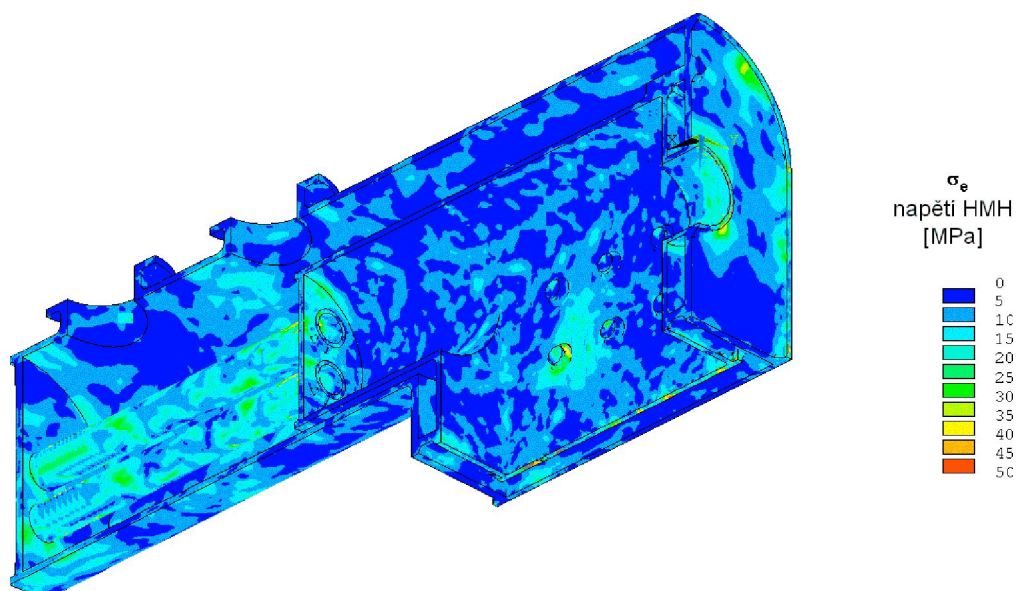
- Modul pružnosti $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.
- Poissonovo číslo $\nu = 0,3$.
- Lineární výpočet, řešič PCG.



Obr. 5.17 Okrajové podmínky výpočtu napětí z teplotního zatížení.



Obr. 5.18 Napětí HMH ve stěnách od teplotního namáhání.



Obr. 5.19 Napětí HMH ve stěnách od teplotního namáhání.

Výsledky výpočtu napětí na obr. 5.18 a 5.19 ukazují napětí v plochách okolo 15MPa, u pecní trubkovnice místně 30MPa. Tato oblast je však velice malá.

Ukazuje se, že napětí od teplotního namáhání jsou v souladu s konstrukčními doporučeními v kapitole 2 zanedbatelná. Pro další výpočet pevnosti toto namáhání

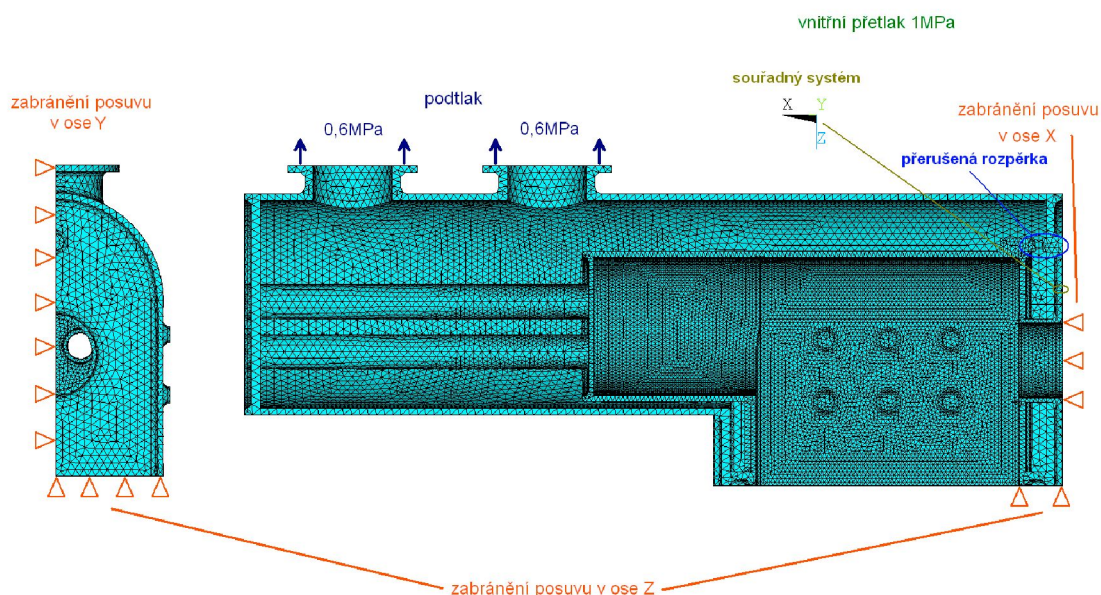
neбуде tedy dále uvažováno. Zde je tento výpočet uveden jen pro doplnění a zhodnocení všech významných namáhání.

5.6 Výpočet pevnosti kotle pomocí MKP - vnitřní přetlak

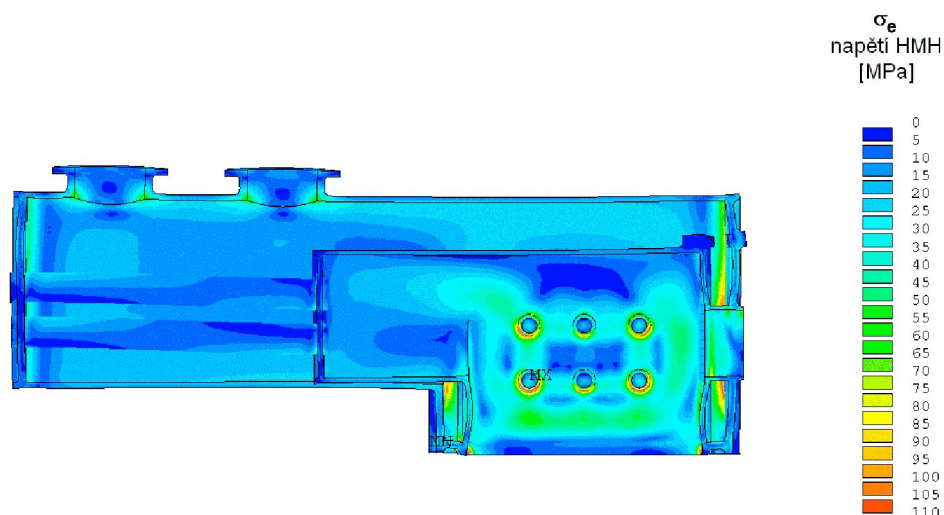
Na stejném geometrickém modelu, který byl použit pro výpočet v části 5.5, byl aplikován vnitřní přetlak $p = 1\text{MPa}$. Z toho důvodu, že ve výpočtovém modelu chybějí vrchlíky dómů, je jejich silový účinek nahrazen podtlakem $0,6\text{MPa}$ na okrajové lemy hrdel. Tato hodnota odpovídá síle tlakového působení na dna vrchlíků. Okrajové podmínky a zatížení jsou patrná z obr. 5.20. Zabránění posuvu uzlů v ose X reprezentuje souměrnost modelu v rovině YZ.

Parametry výpočtu MKP

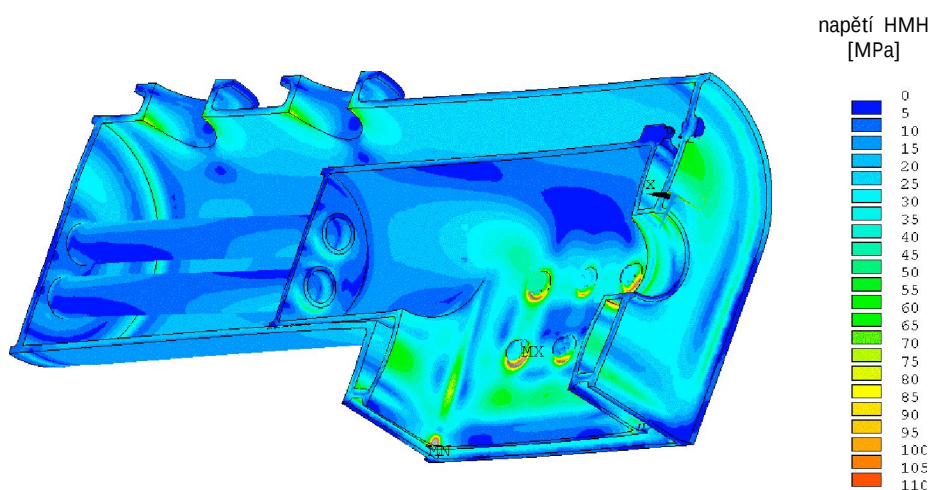
- Modul pružnosti $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{MPa}$.
- Poissonovo číslo $\nu = 0,3$.
- Lineární výpočet, řešič PCG.



Obr. 5.20 Okrajové podmínky a zatížení pro výpočet namáhání od přetlaku.



Obr. 5.21 Napětí HMH ve stěnách od tlakového namáhání.



Obr. 5.22 Napětí HMH ve stěnách od tlakového namáhání.

Výsledky analýzy jsou uvedeny na obrázcích 5.21, 5.22 a dále pak v příloze C.

Analýza pro daný model byla provedena nejprve na modelu, který obsahoval i rozpěrku zadní stěny kotle. Poté byla provedena analýza na modelu, který má tuto rozpěrku přerušenu. Přerušení se provedlo odebráním elementů z rozpěrky. Srovnáním obou výpočtů bylo konstatováno, že napětí ve stěnách bez rozpěrky není tak veliké, aby bylo nutné rozpěrku použít. Tímto jednoduchým postupem bylo možné použít jeden

výpočtový model pro dvě varianty výpočtu. Obrázky uvádějí jen stav s přerušenou rozpěrkou.

Podle [26] je kritériem pro posuzování mezního napětí v konstrukci dovolené napětí f číselně pak to je $f = 111\text{MPa}$. Toto platí pro membránová napětí ve stěnách. Místně a tam, kde je membránové napětí kombinováno s ohybem, tj. napětí není přes celý průřez materiálu maximální, je možné jít až k mezi kluzu materiálu.

Napětí ve stěnách se pohybují okolo 50MPa, tedy daleko od požadovaného membránového napětí 111MPa. V dřících rozpěrek je toto napětí okolo 50MPa. V místech připojení rozpěrek 80-110MPa, tedy pod mezi kluzu použitého materiálu P235GH, $R_{p0,2tc} = 167\text{MPa}$. Přesto byla provedena optimalizace tvaru rozpěrky a v reálném kotli byly použity tvarově modifikované rozpěrky s pechodovým radiusem. Touto modifikací se zabývá část 5.2.

Pro max. napětí ve svarech je použito kritérium

$$\sigma_s = \sigma_s - R_{p0,2tc} = 0,85 \cdot 167\text{MPa} = 142\text{MPa}, \quad (5.17)$$

$$\sigma_s = 0,85 [13].$$

Ve svarech se napětí pohybují až 110MPa.

Výsledky namáhání, jejich rozložení a velikosti jsou vyhovující. Místně se mohou vyskytnout části s napětím vyšším, než mez kluzu, tyto oblasti jsou však velice malé a plastizací materiálu se tato napětí rozloží a zmírní.

6 Experimenty a měření

6.1 Tlaková zkouška

Před prvním zatopením kotle je potřebné vykonat tlakovou zkoušku. Tato zkouška má za cíl ověřit kvalitu zhotovení kotle, těsnost všech spojů a schopnost kotle odolat vnitřnímu namáhání.

Po kompletaci kotle a dosazení nutné armatury, jako jsou vodoznaky, pojišťovací ventily a tlakoměr, se kotel zcela naplní vodou a připojí se ke zdroji tlakové vody. Pojišťovací ventily se upraví tak, aby neúčinkovaly po překročení provozního tlaku p . Zdrojem tlakové vody je ruční napáječka, která potom během provozu slouží k napájení kotle vodou.

Normalizovaný hydraulický zkušební přetlak nesmí být menší než přetlak vypočtený podle následující rovnice:

$$p_t = 1,25 \cdot p_d \cdot \frac{R_{p0,2 \dots tc}}{R_{p0,2 \dots 20}} \quad (6.1)$$

nebo

$$p_t = 1,43 p_d \quad (6.2)$$

podle toho, která z hodnot je vyšší. Dosazením do 6.1 a 6.2 dostaneme

$$p_t = 1,25 \cdot p_d \cdot \frac{R_{p0,2 \dots tc}}{R_{p0,2 \dots 20}} = 1,25 \cdot 4 \frac{167}{167} = 1,6 \text{ MPa} \quad \text{a}$$

$$p_t = 1,43 p_d = 1,43 \cdot 1 \text{ MPa} = 1,43 \text{ MPa} . \text{ Zkušební přetlakem je tedy hodnota}$$

$$p_t = 1,6 \text{ MPa}.$$

Datum a místo zkoušky: 19.7.2008, Jílové u Hodkovic nad Mohelkou

Teplota vody a venkovní teplota: 22 °C

Zkouška byla prováděna po dobu 1 hodiny bez vzniku průsaků, deformací a povrchových trhlin.

6.2 Zkouška výkonu a účinnosti

Použitou metodou pro určení účinnosti je *přímá metoda* [29], kdy se sleduje množství tepla do kotle přivedené Q_i a množství tepla z kotle odebrané Q_e . Poměr obou hodnot nám dává celkovou tepelnou účinnost kotle η_k

$$\eta_k = \frac{Q_e}{Q_i} \quad (6.3)$$

Přivedené teplo Q_i je úměrné hmotnosti paliva m_p , které během zkoušky shoří. Jako palivo bylo zvoleno karvinské černé uhlí o tabulkové výhřevnosti $q_n = 29,2 \text{ MJ/kg}$. Tedy

$$Q_i = m_p \cdot q_n \quad (6.4)$$

Odebrané teplo Q_e je dána množstvím vystupující páry o dané teplotě, tlaku a suchosti. Jelikož však stanovení suchosti páry je obtížné, je zvolena metoda ohřevu studené vody v izolovaném zásobníku (kalorimetru). Změřením počátečních t_{v1} a koncových t_{v2} teplot vody a počátečních m_1 a koncových m_2 hmotností vody v kalorimetru, s uvažováním měrné tepelné kapacity vody $c_v = 4,18 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$, dostaneme velikost přivedeného tepla ze vztahu

$$Q_e = c_v Z \sum_{i=1}^{n} (m_2(i) \cdot v_2(i) - m_1(i) \cdot v_1(i))$$

(6 5)

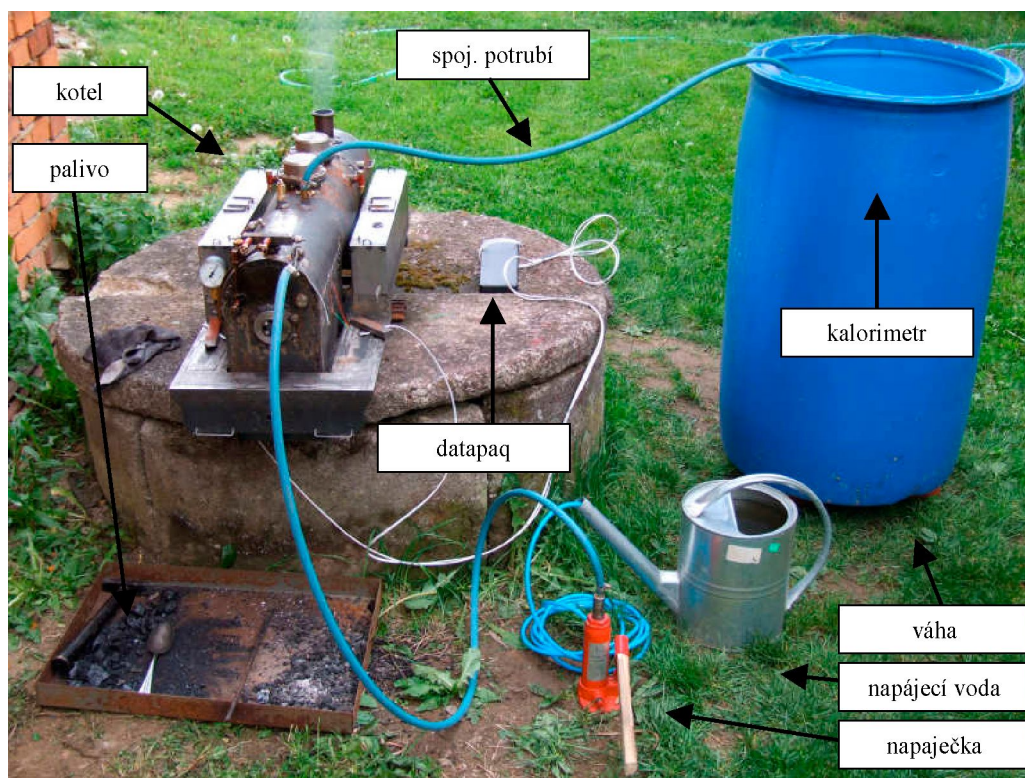
kde n je celkový počet měření.

Rozdíl koncových hmotností $m_2(i)$ a počátečních hmotností $m_1(i)$ vody nám udává hmotnost přivedené páry do kalorimetru.

$$m(i) = m_2(i) - m_1(i) \quad (6.6)$$

Uspořádání zkoušky

Kotel byl zatopen a po celou dobu zkoušky v něm byl udržován tlak $p = 0,9-1 \text{ MPa}$. Tah v kotli byl vyvíjen pomocnou dmychavkou. Hladina vody byla doplňována na stále stejnou úroveň, stav byl sledován na vodoznaku. Na roštu byla na začátku a konci zkoušky přibližně stejná vrstva paliva. Za regulační kohout byla připevněna trubka, jejíž druhý konec vedl přímo do kalorimetru s vodou. Bylo dbáno na to, aby se všechna pára jímala do vodního prostoru kalorimetru, tzn. přívodní trubka byla stále pod vodní hladinou, nasm. rována tak, aby nastala dokonalá kondenzace. Pokud nastalo takové zvýšení tlaku, že by již zaúčinkoval pojistný ventil a pára by unikala do okolí, byl zvýšen odběr páry. Uspořádání aparatury je zřejmé z obr.6.1 a 6.5.



Obr. 6.1 Uspořádání topné zkoušky.

Zkouška byla prováděna po dobu čtyř hodin. Na konci každé hodiny byla změřena teplota v kalorimetru, hmotnost vody v kalorimetru a vyměněna její náplň za novou. Byl měřeno množství potřebované vody. Na konci zkoušky byla zjištěna hmotnost spáleného uhlí. Průběh topné zkoušky uvádí tab.6.1.

datum a místo zkoušky: 20.7.2008, Jílové u Hodkovic nad Mohelkou

okolní teplota a počáteční teplota vody $t_{v1}Q$ [°C] 22°C

M en í i	čas zkoušky t(i) [h]	počáteční hmotnost vody v kalorimetru $m_1(i)$ [kg]	koncová hmotnost vody v kalorimetru $m_2(i)$ [kg]	spotřebované množství vody $m_c(i)$ [kg]	koncová teplota vody $t_{v2}(i)$ [°C]	odebrané teplo Q_{eR} [kJ]	hodinový výkon P_{kh} [kW]
1	1	50	56,1	7,2	86	15 523 kJ	4,3
2	1	50	57,1	8,3	87	16 230 kJ	4,5
3	1	50	57,3	8,5	92	17 464 kJ	4,9
4	1	50	55,4	6,9	77	13 171 kJ	3,7

Tab. 6.1 Průběh topné zkoušky.

Celkem se spálilo $m_p = 5,0\text{kg}$ černého uhlí.

Použitá měřicí aparatura

váha osobní váha ETA 1205, váživost 150kg, přesnost $\pm 0,05\text{kg}$
kalorimetr plastový sud na chemikálie
teploměr TM - 03 - M20, rozsah -20°C až 120°C , přesnost $\pm 0,2^\circ\text{C}$,
Sklárny Kavalier Sázava

Tepelné namáhání během zkoušky

Dosazením do (4.10) obdržíme tepelné namáhání kotle během zkoušky. Za m_u dosadíme

hmotnost spotřebované vody $m_c = \sum_{i=1}^4 m_{c_i} = 30,9\text{kg}$ a za $t = \sum_{i=1}^4 t_i = 4\text{h}$. Po dosazení tedy

$$q_{\text{m}} = \frac{m}{S_k \cdot t} = \frac{20 \text{ Lkg}}{0,16 \cdot 4} = 48,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}),$$

což je v souladu s doporučeními z části 4.3.

Výpočet účinnosti

Dosazením do (6.5) za odevzdané teplo celkem je $Q_e = (15\,523 + 16\,230 + 17\,464 + 13\,171) \text{ kJ} = 62\,388 \text{ kJ}$, přepočtením pro $t = \bigwedge_{2=1}^4 t_t = 4 \text{ h}$ provozu to odpovídá střednímu

výkonu $P_k = 4,3 \text{ kW}$. Dosazením Q_e do (6.4) obdržíme přijaté teplo Q_i . Tedy $Q_i = m_p \cdot q_n = 5 \text{ kg} \cdot 29,2 \text{ MJ/kg} = 146\,000 \text{ kJ}$. Dosazením do (6.3) dostaneme účinnost kotle

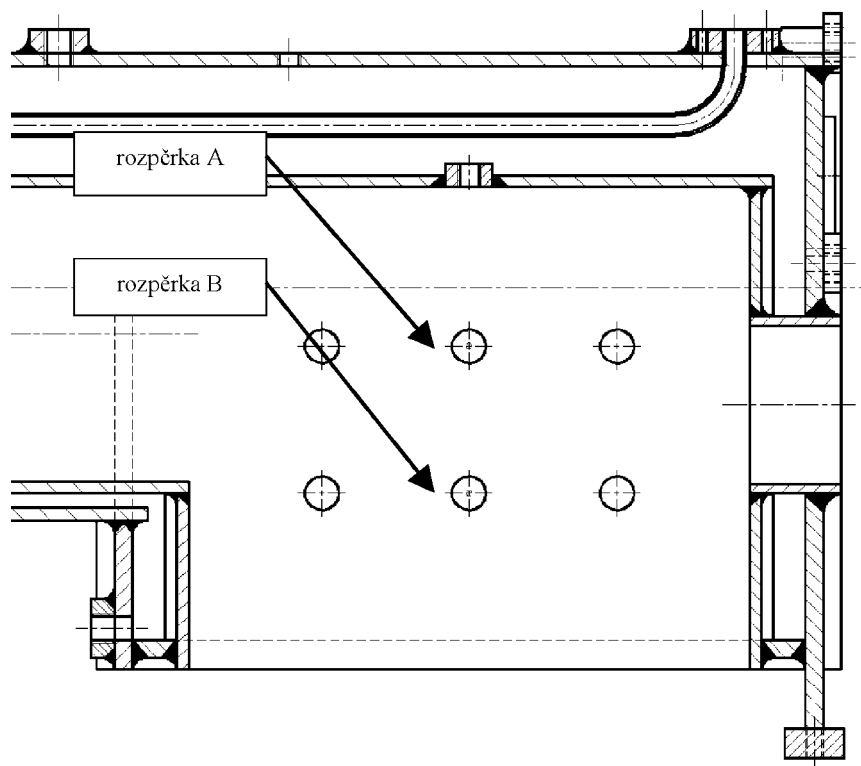
$$\eta_k = \frac{Q_e}{Q_i} = \frac{62\,388 \text{ kJ}}{146\,000 \text{ kJ}} = 43\%.$$

U velkých kotlů se dosahuje účinnosti 80%, u plynových kondenzačních kotlů i více. Hodnota 43% je tedy spíše na dolní hranici. Je to dáno celkově malými rozměry kotle a z toho vyplývajícím horším spalováním a také použitím pomocné dmychavky, kdy se část páry používá pro vyvození tahu v kotli. Bez dmychavky ale provoz není možný. B hem jízdy lokomotivy se dmychavka zavírá a účinnost kotle bude úměrně větší.

6.3 Měření teploty stěny

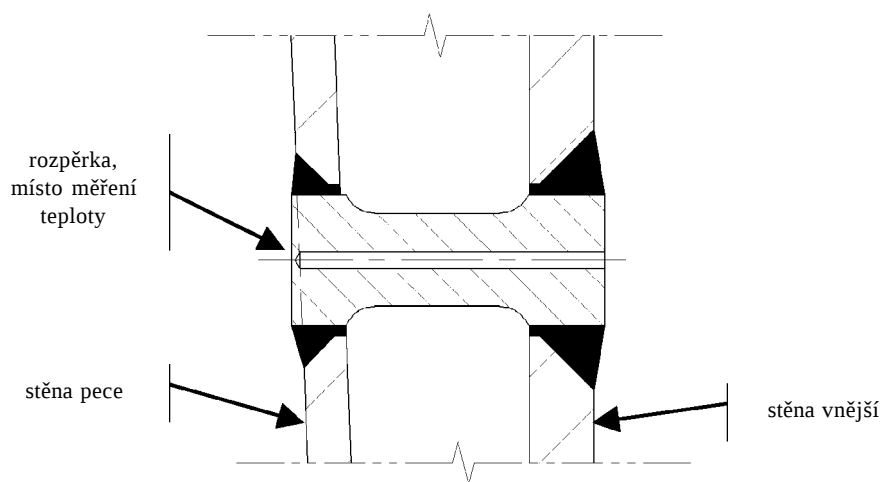
Kotel byl zatopen a udržován na tlaku $p = 1 \text{ MPa}$. Bylo dbáno na to, aby oheň byl rovnoměrný a odpovídal požadovanému výkonu.

Do celkem čtyř rozpěrek A a B, z pravé i levé strany, byl zaveden bimetalový termočlánek. Označení rozpěrek vychází z obr.6.2.



Obr.6.2 Označení rozpěrek.

Bylo dbáno na to, aby se termočlánek dostal až na konec vývrtu v rozpěrce (obr. 6.3) a pak byl spolehlivě upevněn tak, aby se nemohl během zkoušky posunout. Teplota byla měřena ve dně vývrtu rozpěrky.

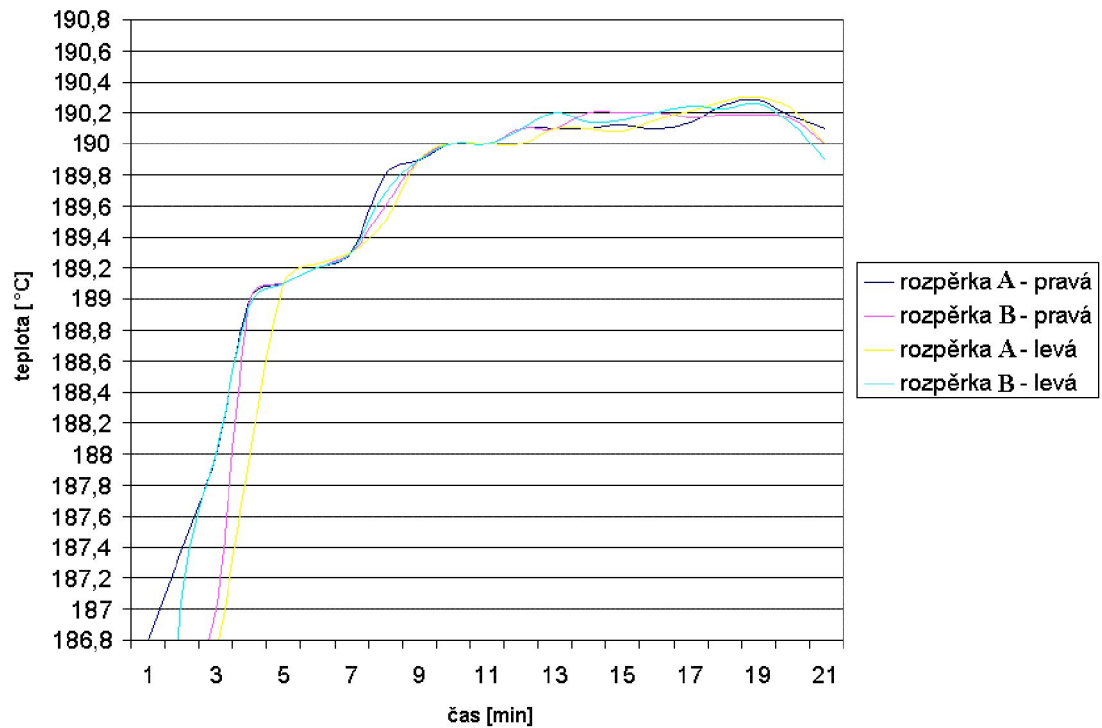


Obr. 6.3 Detail měřicího místa v rozpěrce.

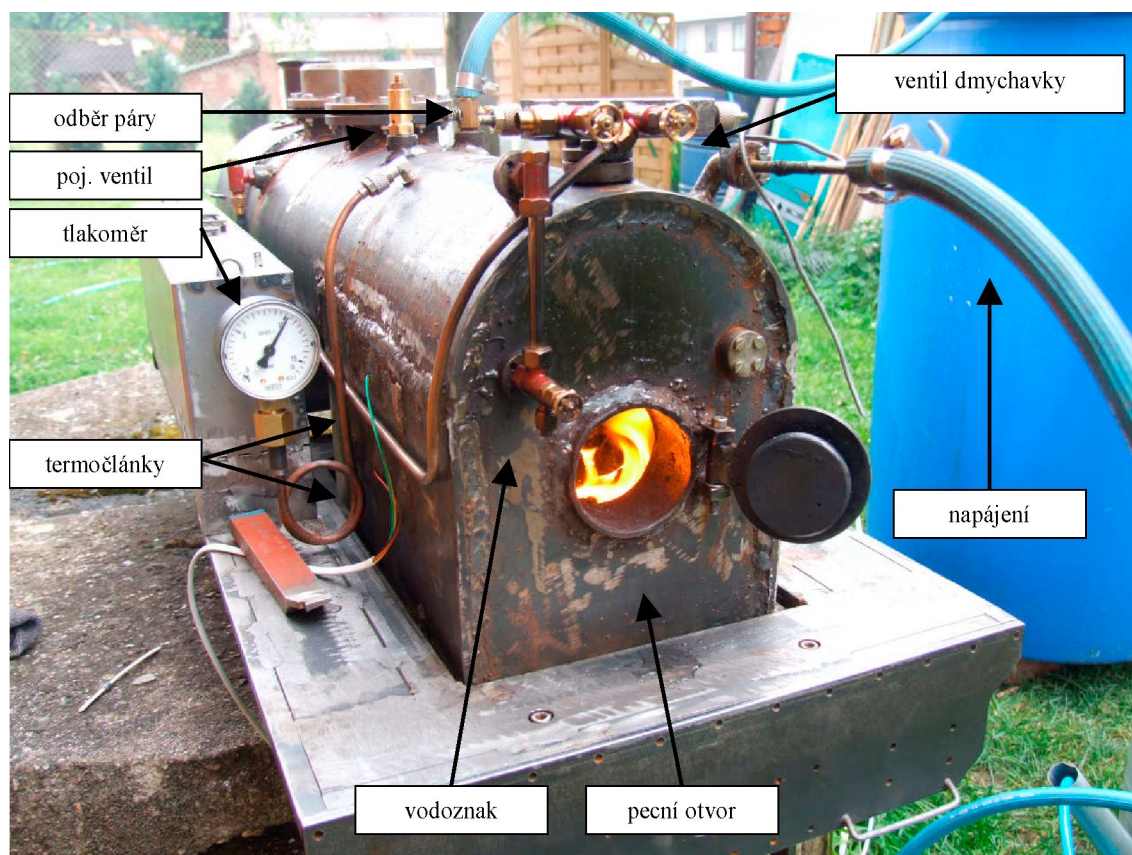
Uspořádání aparatury je patrné z obr. 6.1 a 6.5.

Datum a místo zkoušky: 19.07.2008, Jílové u Hodkovic nad Mohelkou

Okolní teplota: 22 °C



Obr. 6.4 Graf časového průběhu teploty ve stěně pece.



Obr.6.5 Měření teploty ve stěně pece.

Podle části 5.3 byla teplota stěny ze strany ohně výpočtem stanovena na $t_{st,i} = 188,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro vyhodnocení teploty stěny je třeba uvažovat ustálený stav, což je podle grafu na obr.6.4 přibližně mezi 13. až 19. minutou. Experiment ukazuje, že tato teplota je přibližně $190\text{--}190,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což je o $1,7\text{--}2,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ překročeno. To je dobrá shoda, protože v daném okamžiku nelze zjistit aktuální tepelný výkon kotle a tím ani teplotní spád. Do 9. minuty je možné pozorovat, jak se teploty termočlánků teprve vyrovnávají s teplotou stěny.

Použitá měřicí aparatura

teploměrná souprava

Datapaq Furnace Tracker, SONY č. DP502610

Měřicí přístroj zaznamenává najednou až šest teplot v časové ose. Po ukončení měření je třeba změřená data převést do počítače a v příslušném programu vyhodnotit. Přístroj byl zapůjčen laskavostí firmy DENSO Manufacturing Czech s.r.o. Liberec, japonského výrobce klimatizací.

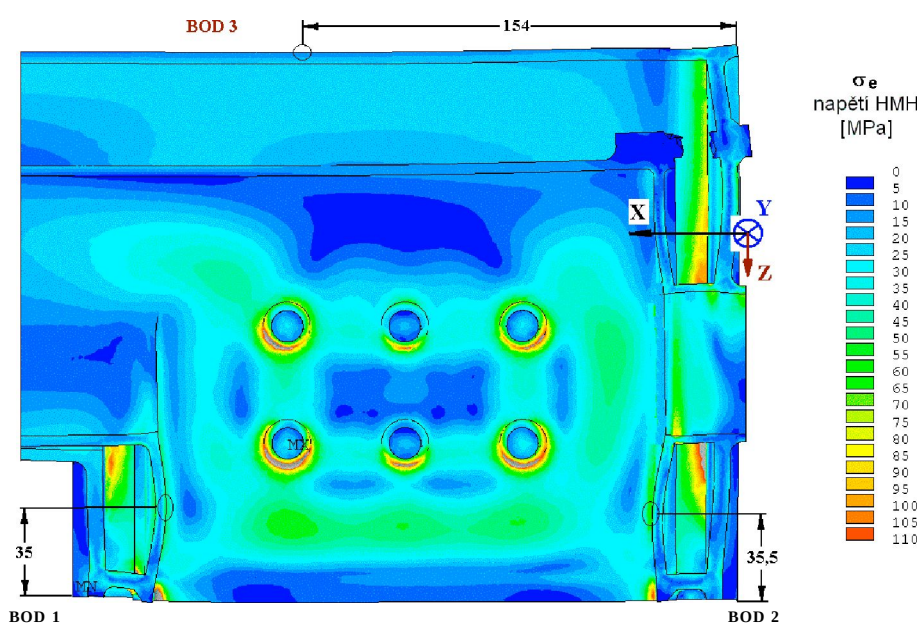
6.4 Měření napětí ve stěnách kotle

Pro ověření dosažených výsledků, zejména jak je uvedeno v části 5.6, bylo uspořádáno experimentální měření napětí na stěnách kotle pomocí tenzometrů.

Vybranými měřnými místy byly tři body, ležící v rovině symetrie XZ. Dva z nich leží na povrchu uvnitř pece, v polovině vzdálenosti mezi připojeními k dalším částem, třetí bod se nachází na povrchu válcového kotle. První dva body byly vybrány proto, že leží na dosti namáhaných místech, kde navíc v provozu bude i tepelné namáhání a postupem času i koroze opalem a od vodního prostředí kotle. Je tedy vhodné tato místa vybrat a experimentálně ověřit, že hodnoty napětí pomocí MKP, z části 5.6, nebudou překročena. Třetí bod, na válcovém kotli, je vybrán jako místo s rovnoměrným průběhem napětí bez špiček.

Na kotli však existují i místa, která vykazují namáhání větší, např. v okolí svarů a rozpěrek. Tenzometricky však tato místa měřit nelze, protože tenzometr měří napětí na ploše, která odpovídá jeho geometrickým rozměrům, což jsou jednotky *mm* a tato místa špiček napětí jsou malá. Dále je nutné tenzometr umístit (nalepit) na rovinnou plochu. Tyto požadavky však tato místa nemohou splnit.

Polohy vybraných míst ukazuje obr. 6.6. Napjatosti podle hypotézy HMM je možné sledovat na grafu, který je na obrázku vpravo.

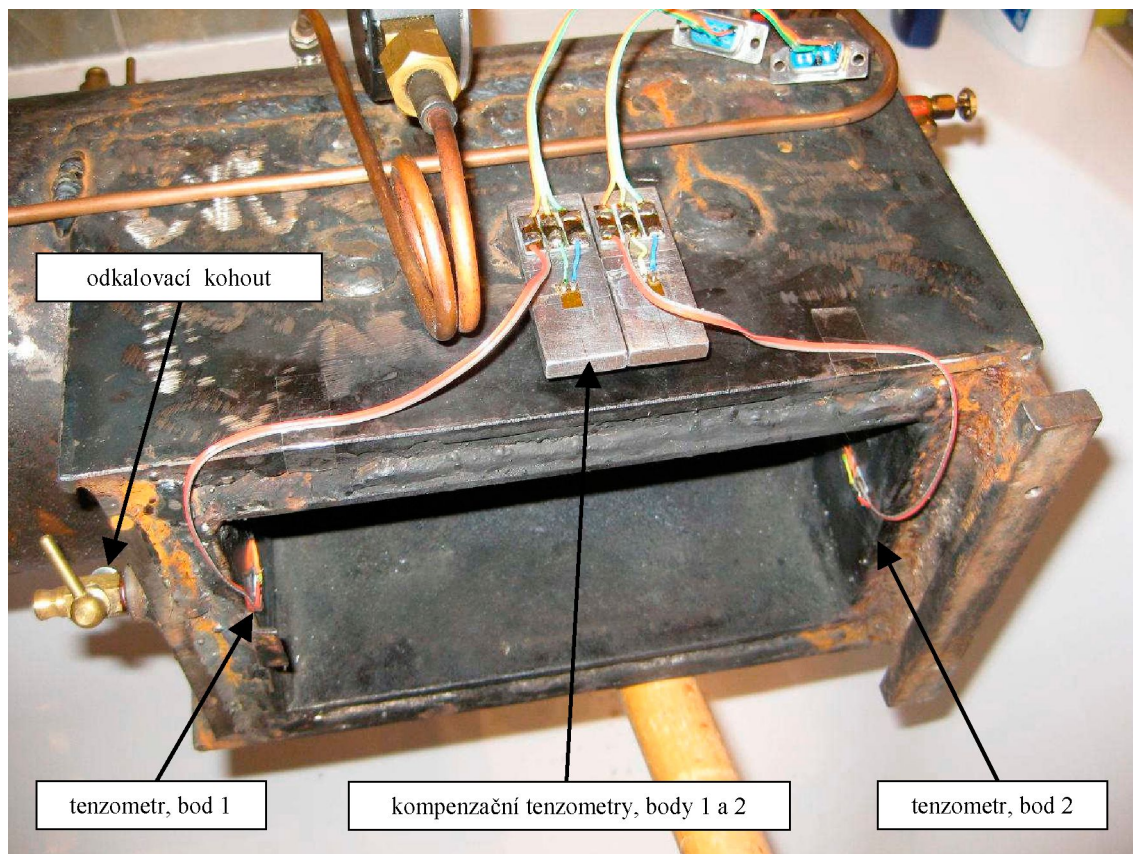


Obr. 6.6 Poloha vybraných měřných bodů.

Veličina / Bod	Bod 1	Bod 2	Bod 3
Souřadnice x_t [mm]	221,0	31,0	154,0
Souřadnice y_t [mm]	0	0	0
Souřadnice z_t [mm]	95,5	94,5	-79,5
Souřadnice směrového vektoru pro 1. hlavní napětí, osa X [mm]	-0,003	0,017	-0,003
Souřadnice směrového vektoru pro 1. hlavní napětí, osa Y [mm]	0	0,007	0,999
Souřadnice směrového vektoru pro 1. hlavní napětí, osa Z [mm]	0,999	0,999	-0,006
1. hlavní napětí CT_1 [MPa]	66,6	60,8	9,9
2. hlavní napětí CT_2 [MPa]	16,6	4,3	0,13
3. hlavní napětí CT_3 [MPa]	-0,04	-0,14	-1,7
Napětí HMH CT [MPa]	60,1	58,8	10,9
Experiment - napětí CT [MPa]	58,1	59,6	12,2

Tab.6.1 Souřadnice a napětí v měřených bodech.

Pro vybraná měřicí místa byla pomocí MKP stanovena hlavní napětí v těchto bodech a také směr tohoto napětí. To nám slouží k tomu, abychom nalepili tenzometr na měřený povrch ve směru jeho citlivosti. Souřadný systém bodů, jak je zobrazen na obr. 6.6, má osu X totožnou s osou válcového kotle, její počátek je na hraně trubky válcového kotle, osa Y má směr na rovinu symetrie celého kotle XZ a míří na obrázku vzad, osa Z je kladná směrem dolů.

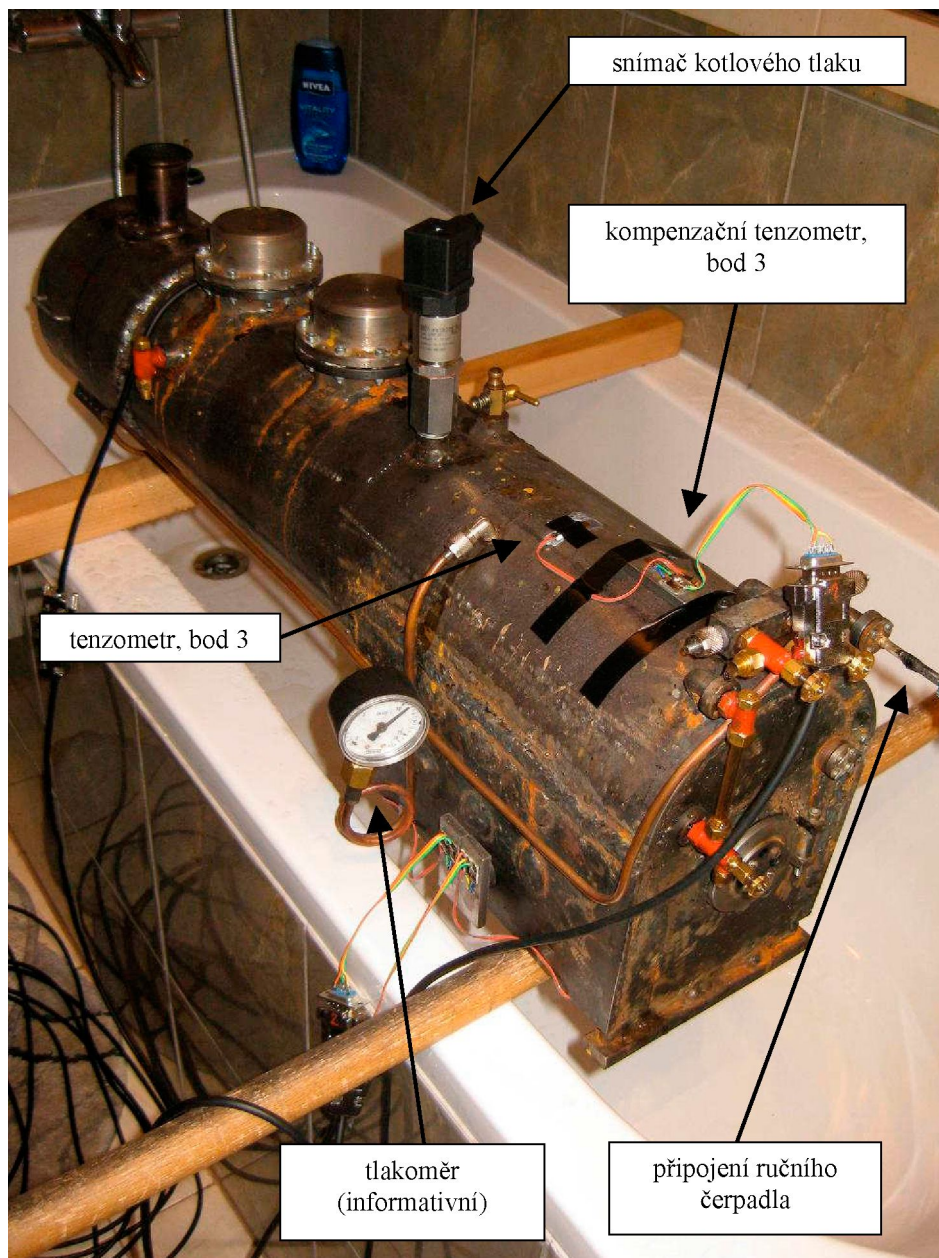


Obr.6.7 Kotel během měření napětí, pohled dovnitř pece.

Uspořádání zkoušky

V měřicích bodech a jejich bezprostředním okolí byl očištěn a vybroušen povrch dohladka. Tenzometry byly nalepeny na místa, která odpovídají souřadnicím z tab. 6.1. Směr umístění tenzometrů pro bod 1 a bod 2 je určen osou Z, tenzometru pro bod 3 osou Y. Jako teplotní kompenzace a doplnění polomůstku byl každý tenzometr propojen ještě s jedním tenzometrem. Tento tenzometr je umístěn na zvláštní podložce, která umožňuje tento tenzometr po skončení měření odejmout a použít pro další měření.

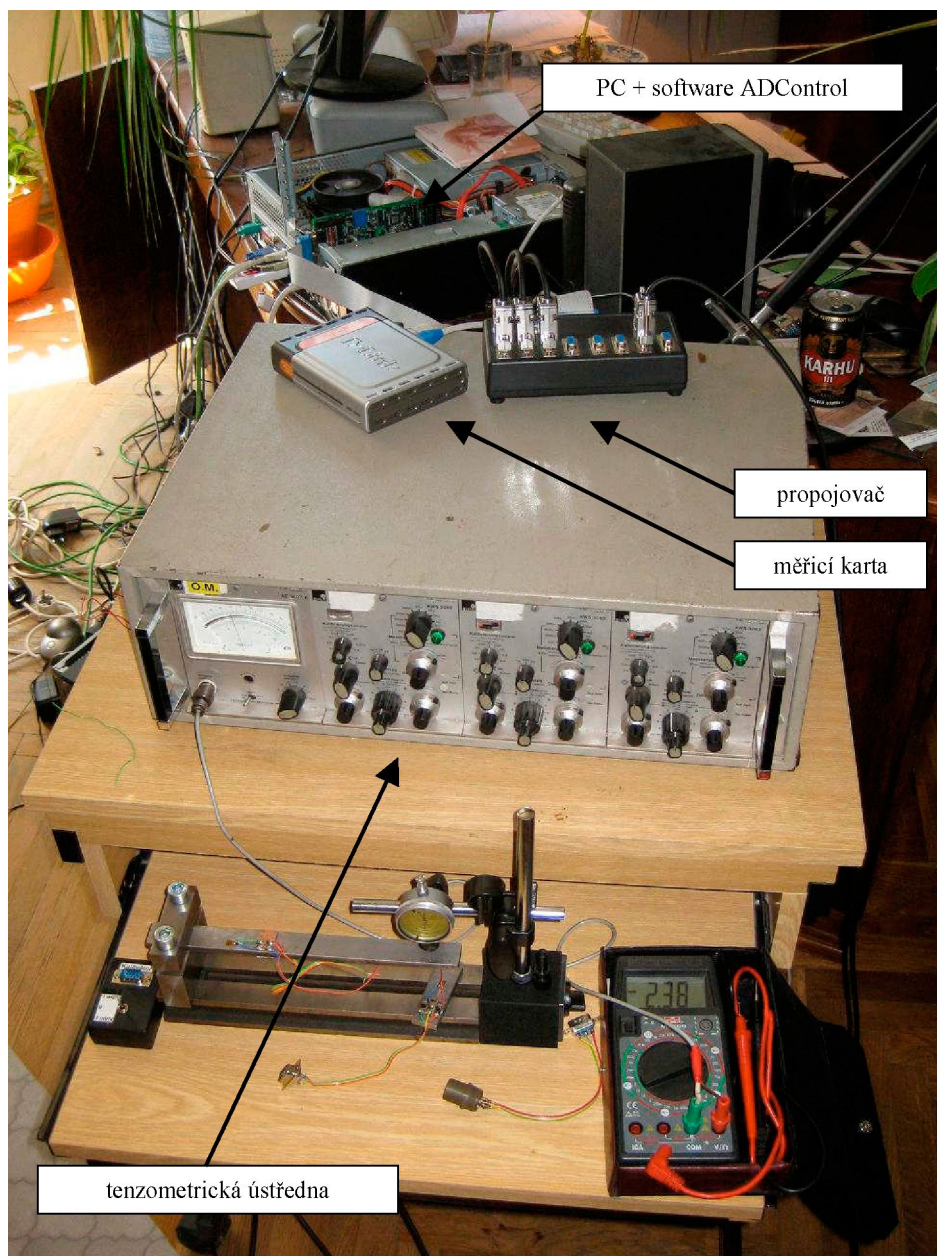
Tenzometry byly zapojeny do polomůstku a vyváženy v tenzometrické ústředně. Kotel byl opatřen elektronickým snímačem tlaku. V kotli byl zvýšen tlak ruční pumpou na přetlak $1,65\text{MPa}$ a tím, jak povoleným odkalovacím kohoutem odkapávala z kotle voda, vnitřní přetlak se rovnoměrně snižoval až na hodnotu $0,8\text{MPa}$, kdy byl přetlak snížen na 0MPa . Po celou dobu bylo toto měření zaznamenáváno prostřednictvím měřicí karty do počítače, odkud je možné výsledky zpracovat i v časové ose. Měřicí aparatura je na obr. 6.9.



Obr. 6.8 Kotel během měření napětí pomocí tenzometrů.

Použitá měřicí aparatura

tenzometry	HBM 3/120LY41
snímač kotlového tlaku	BHV - senzory DPM 331
tenzometrická ústředna	HBM KWS 3082
záznam dat / digitalizace signálu	měřicí karta AD14PCI + software ADControl
Datum a místo měření:	2.5.2009, Praha
Okolní teplota:	21 °C



Obr. 6.9 Měřicí aparatura.

Vyhodnocení měření

Napětí změřená tenzometry jsou úměrná poměrným deformacím, které ve skutečnosti tenzometry měří.

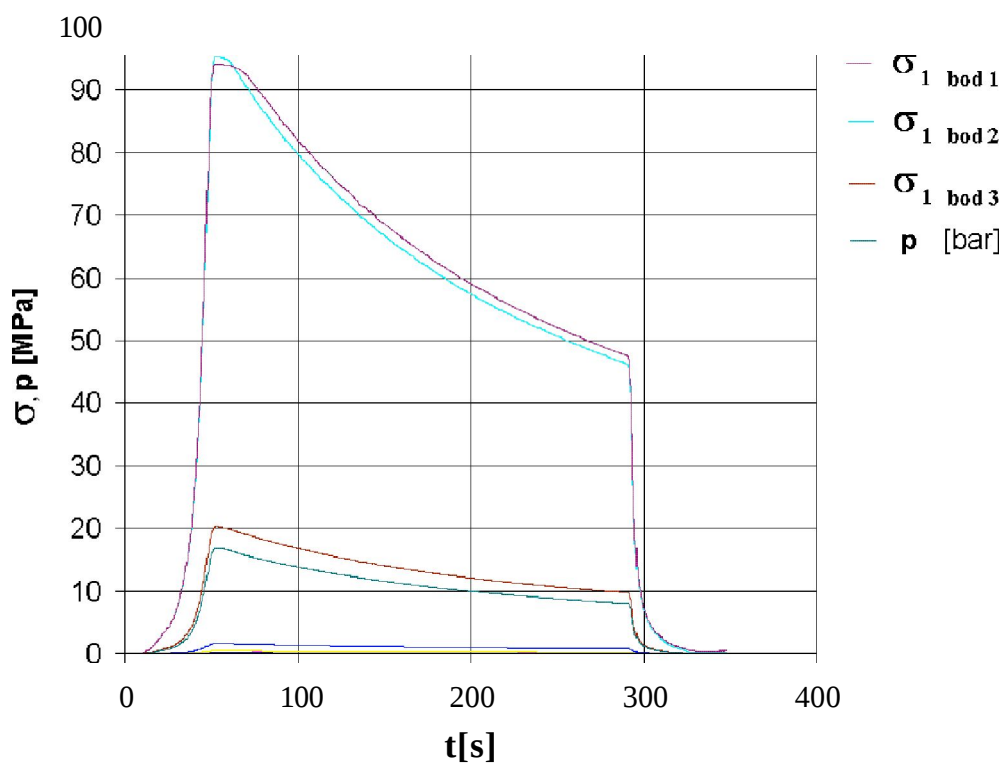
Napětí v měřeném místě je dáno Hookeovým zákonem

$$\sigma = \epsilon \cdot E, \quad (6.6)$$

kde je

ϵ [–] poměrné prodloužení,

E [MPa] modul pružnosti materiálu, pro ocel $E = 2,10^5$ MPa.



Obr. 6.10 Graf výsledků měření.

Změřené hodnoty byly přepočteny vztahem (6.6) a na obr. 6.10 je znázorněn časový průběh měření. Požadovaného tlaku $p = 1$ MPa bylo dosaženo v sestupné části grafu v čase $t = 199$ s.

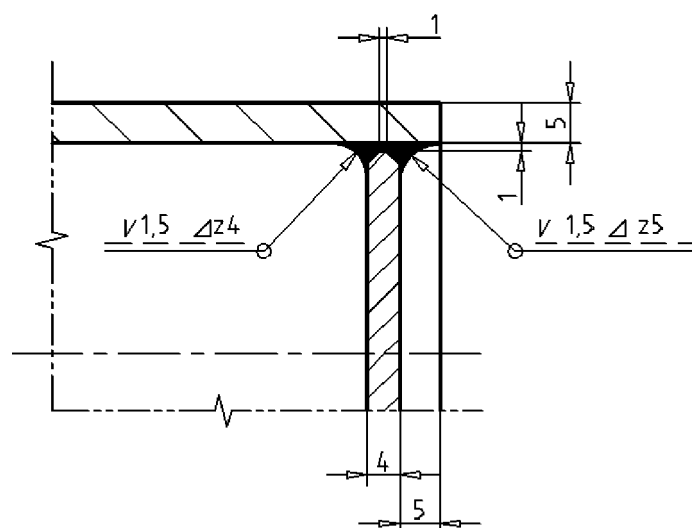
Porovnáním výsledků měření, která uvádí i tab.6.1, je zřejmá odchylka měření oproti vypočteným napětím v řádu jednotek MPa. To vykazuje dobrou shodu měření a výpočtu.

7 Metodika návrhu malých parních kotlů

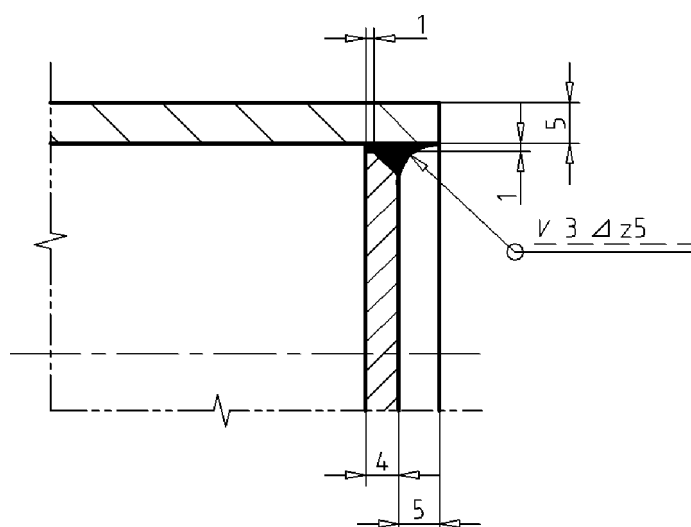
Jako shrnutí poznatků, které byly získány při plnění cílů práce, byl vypracován postup návrhu kotle.

1. Zhodnotí se charakter provozu parního stroje (odběrného zařízení), ke kterému je kotel určen, a navrhne se velikost požadovaného objemu páry V_u za hodinu a přetlak p . Přetlak p není účelné volit příliš malý, pak parní stroj pracuje s velmi malou účinností, ani příliš velký, pak kotel a armatury trpí netěsnostmi. Optimální se jeví rozmezí $p = 0,3$ až $1,5\text{MPa}$.
2. Pro požadovaný objem páry V_u a přetlak p se v tabulce syté páry [24] nalezne velikost její měrné hmotnosti p'' . Vypočítá se požadovaná hmotnost odpařené vody m_u za hodinu (např. podle vztahu 4.8).
3. Z hmotnosti m_u a odpařivosti q_m se vypočítá (např. podle vztahu 4.10) teplosměnná plocha kotle S_k .
4. Vypočítá se výkon kotle P_t (např. pomocí vztahu 4.9). Tuto hodnotu je nutno kriticky zhodnotit a upravit s ohledem na charakter provozu, spotřebu ostatních zařízení, velikost parního prostoru kotle aj. Rozhodne se, jakým způsobem bude kotel vytápěn. Z tuhých paliv je možné uvažovat černé a dřevné uhlí, suchého dřeva. Ostatní tuhá paliva, zejména hnědé uhlí, vhodné není, způsobuje usazování dehtu na stěnách kotle. U černých uhlí nejsou vhodná kovářská uhlí, spékají se a spečeniny nejdou odstranit z roštu. U kapalných a plyných paliv rošt odpadá a nahrazuje se odpařovačem a hořákem. U těchto paliv je nebezpečí překročení měrné odpařivosti kotle q_m . Tato hodnota by měla ležet v mezích $q_m = 30$ až $60\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$ [19].
5. Pro tuhá paliva se podle výkonu kotle P_k vypočítá plocha roštu (např. pomocí vztahu 4.11). Při návrhu plochy roštu je potřebné se řídit nejenom kvalitou použitého paliva, ale i jeho konstrukčního uspořádání. Tím je míněna zejména možnost kontinuálního odstraňování popela z roštu, protože zanesením roštu výkon kotle klesá. Rošt má být proveden tak, aby umožnil okamžité shození ohně, např. v případě nebezpečí. Výhřevnosti běžných paliv jsou uvedeny v [17].

6. Pro stanovenou velikost teplosměnné plochy S_k a plochy roštu S_r (nebo velikost odpařovačů, hořáků) se navrhne kotel. Provedou se návrhové / kontrolní výpočty tloušťek stěn, trubek, rozpěrek, svarů podle [13].
7. Jako materiálu je možné použít ocelí, mědi, mosazi. Použití barevných kovů ztěžuje nutnost použití tvrdého pájení a několikanásobně vyšší cena materiálu. Tloušťky ocelových materiálů nemají být s ohledem na technologii svařování menší než $3mm$. Rozpěrek se nemá volit příliš mnoho, aby to neznamenal mnoho zásahů do stěn od svařování. Světlost kornových trubek nemá být menší než asi $12mm$, aby nenastávalo jejich zanášení zplodinami hoření.
8. Pec je vhodné opatřit spalovací komorou, prodlouží se tím dráha hoření spalín.
9. Kotel je vhodné opatřit víkem, kterým se dá po demontáži pozorovat vnitřní koroze atd. Místa pro napájení kotle vodou je dobré situovat do míst, kde nedochází k intenzivnímu odpařování, umístit je např. k dýmniční trubkovnici. Zabrání se tak náhlým změnám teplot během napájení a vzniku teplotních prnutí.
10. Místa s intenzivním odparem je nutné navrhnout tak, aby byla dostatečně omývána vodou.
11. Jako napájecí vody je vhodné používat měkkou (dešťovou) vodu, zabrání se tím zanášení kotelním kamenem a kotel netrpí. Jinak je nutno zřizovat výmyvky a během provozu kotel odkalovat.
12. Svary částí kotle se mají umísťovat tak, aby byl svar namáhán spíše smykem, než tahem/tlakem. Obr. 7.1 a 7.2 ukazují velikosti připojovaných součástí a jim odpovídající velikosti svarů. Další příklady uvádí např. [13]. Vzájemný přesah dílů má odpovídat alespoň tloušťce spojovaných dílů. Svary se mají provést oboustranné a s provařením kořene. Pro svaření se má použít bazické elektrody, v ochranné atmosféře CO_2 nebo argonu.



Obr. 7.1 Příklad velikosti připojovaných částí a jejich svara. Oboustranný svar.



Obr. 7.2 Příklad velikosti připojovaných částí a jejich svarů. Jednostranný svar.

13. Po svaření je vhodné použít žíhání na odstranění vnitřního pnutí.
14. Kotel je nutné opatřit manometrem, vodoznakem, olovníkem a pojišťovacím ventilem dostatečného pmřezu.
15. Po osazení armatur kotel podrobit tlakové zkoušce vodním tlakem, s přetlakem rovným přibližně jedenapůlnásobku provozního přetlaku p (přesně je výpočet

tohoto p etlaku uveden v [13]. Tuto zkoušku je vhodné b ěhem provozování kotle opakovat, např. po jednom roce.

16. Po zatopení a stoupnutí tlaku je nutné přezkušovat všechna bezpečnostní zařízení. Pojišťovací ventily je nutné profouknout parou, např. nadzdvihnutím uzavírací kuželky. Toto není třeba provádět, pokud se zjistí, že po stoupnutí tlaku ventily samočinně odfukují. U vodoznaků je nutné profouknout přívodní části, jednotlivě vodní i parní kanál. Je nutné sledovat kvalitu vody uvnitř kotle.
17. Kotel je nutné zatápět pomalu, zatěžovat jej rovnoměrně a vyvarovat se náhlých změn. To platí jak pro přikládání paliva, tak pro napájení. Je nutné udržovat vodní hladinu v p edepsaných mezích, vyvarovat se poklesu hladiny a obnažení pece.

8 Závěr

Práce je p ínosem pro oblast výrobk , jejichž používání se v sou asné dob rozvíjí. Nejsou přesně známá všechna zatížení, která na takovýto výrobek (kotel) působí a vše se odhaduje jen podle situace u velkých kotl .

Konstrukce kotle pro malou parní lokomotivu, nebo pro malý parní stroj, musí být jednoduchá a technologicky snadno vyrobitelná. Pro výpočet těchto kotlů jsou dány závazné normy, jako pro kotle velké. Není však možné dodržet všechna doporu ení, např. průměr rozpěrek. Je však požadováno, aby konstrukce a provoz takovýcho za ízení byl naprosto bezpečný a spolehlivý. To znamená, že pevnost konstrukce musí být dostate ná a kotel musí být vybaven ukazatelem hladiny (vodoznakem), olovníkem a pojišťovacím ventilem. Tato práce ukazuje, že lze takový kotel vyrobit jednoduše a jeho provoz bude bezpečný.

Práce uvádí popis konstrukce požadovaného kotle. Srovnává se zde konstrukce velkého kotle a zjednodušení, která jsou nutná pro malý kotel. Kotel je vylepšen o spalovací komoru. Tato úprava přispěla ke zvětšení dráhy kornových plynů, které mají možnost lépe shořet. Zároveň bylo možné odstranit stropní rozpěrky. Konstrukce byla zlepšena pro odstranění problémů z hlediska výrobní technologie. Je zde uveden návrhový výpočet teplosměnných ploch kotle a roštu pro požadovaný výkon.

Výpočet částí kotle podle normy je proveden jako základní metoda konstrukčního návrhu. Není možné dodržet všechna doporučení, např. ohledně průměru rozpěrky.

Optimalizace rozprky ukazuje obecnou metodu, jakým způsobem je možné postupovat při zjišťování nejvhodnějších rozměrů strojních dílů.

Určení účinnosti kotle a topná zkouška ověřuje schopnost kotle pracovat požadovaným výkonem. Byla změřena účinnost kotle 43%, což je hodnota poměrně malá. Je to způsobeno malými rozměry kotle a charakterem provozu. Přesto může takovýto kotel poskytnout dostatečný výkon pro požadovaný druh provozu. Měření teploty stěny potvrdilo správnost teplotního výpočtu podle MKP.

Výpočet pomocí MKP pevnostně ověřuje navrženou konstrukci. Nejprve je proveden rozbor zatížení od teploty a je aplikován na výpočtový model. Pro požadovaný výkon jsou teplotní namáhání malá a zanedbatelná. Největší význam mají zatížení od vnitřního tlaku. Ačkoliv se použilo zjednodušené konstrukce kotle, je tato konstrukce schopna tímto zatížením odolat.

Experiment určuje napětí ve třech bodech na kotli. Toto měření je dalším potvrzením klasického výpočtu a MKP. Měření vykazalo dobrou shodu.

Metodika návrhu a provozu kotle umožňuje uvést získané poznatky do praxe. Je potřeba se vyhnout takovým konstrukčním úpravám, které nejsou bezpečné. Ačkoliv se jedná o kotle o objemu několika litrů, je v nich nahromaděno velké množství energie.

Použitá literatura

- [1] ČSN 07 0000 Názvosloví parních kotlů.
- [2] ČSN 07 0414 Parní a horkokapalinové kotle. Výpočet pevnosti.
- [3] ČSN 07 0414 Kotle parní a horkokapalinové.
- [4] ČSN 07 0620 Konstrukce a výstroj parních kotlů.
- [5] ČSN 07 0621 Umístění kotelních zařízení a provedení kotelen.
- [6] ČSN 07 0622 Výroba parních kotlů.
- [7] ČSN 07 0623 Technická dokumentace kotlů.
- [8] ČSN 07 0624 Montáž parních kotlů.
- [9] ČSN 07 0710 Provoz, obsluha a údržba parních a horkovodních kotlů.
- [10] ČSN 07 7401 Voda a pára pro tepelná energetická zařízení.
- [11] ČSN 42 0090 Materiál pro tepelná energetická zařízení.
- [12] ČSN 69 0010 Tlakové nádoby stabilní. Technická pravidla.
- [13] ČSN EN 12 953 Válcové kotle.
- [14] Němec, J.: Výpočty pevnosti tlakových nádob. SNTL Praha, 1962.
- [15] Jevěnkó, V.I., Bělov V.F., Běljakin, A.A.: Theorie a výpočet parní lokomotivy. Moskva, 1951.
- [16] Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. SNTL Praha, 1985.
- [17] Černý, V., Janeba, B., Teyssler, J.: Parní kotle. SNTL Praha, 1983.
- [18] Klág, J.: Parní stroje. SNTL Praha, 1959.
- [19] Louda, J., Mareš, V.: Příručka pro strojvedoucí. Dopravní nakladatelství Praha, 1958.
- [20] Kriiák, R.: Kvalifikační příručka potrubáře a kotláře. Práce, Praha, 1970.
- [21] Roček, J.: Průmyslové armatury. Teorie a praxe. SNTL Praha, 1975.
- [22] Bolek A. , Kochman J. a kol.: Části strojů. SNTL Praha, 1990.
- [23] Leinveber Jan, Vávra Pavel: Strojnické tabulky
ALBRA - pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2003.
- [24] Michejev, M.A.: Základy sdílení tepla. Průmyslové vydavatelství Praha, 1952.
- [25] Němec, J.: Spolehlivá životnost svařovaných částí. Vydavatelství ČVUT Praha, 1994.

- [26] PED5500:2009 Specification for unfired fusion welded pressure vessels.
- [27] www.parostroj.cz, Popis lokomotivního kotle.
- [28] Kotelní kniha ČKD 1435 BS 200, výrobní číslo 2207/1947.
- [29] Hrdlička, F.: Vyhláška č. 276/2007 - účinnost kotlů. Časopis TLAKInfo, www.tlakinfo.cz, článek z 11.2.2008.
- [30] Giesl-Gieslingen, A.: Anatomie der Dampflokomotive international. Verlag Josef Otto Slezak, Wien, 2004.
- [31] Olehla J., Hrušová M., Petříková M., Strádal P. Termofyzikální vlastnosti tekutin. Technická univerzita Liberec, 1999.
- [32] katalog fy E.Zimmermann GmbH, Im Sichert 15, 74613 Ohringen.
- [33] Mácha, A.: Výpočet rozpěrky parního kotle pomocí MKP. Konference s mezinárodní účastí Svratka, 2000.
- [34] Mácha, A.: Nízkocyklová únava rozpěrky parního kotle. XLIII. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů Zvolen, 2002.

Publikace autora

- [A] Mácha, A.: Výpočet rozpěrky parního kotle pomocí MKP. Konference s mezinárodní účastí Svratka, 2000.
- [B] Mácha, A.: Výpočet deformačních sil pryžové válcové pružiny pomocí MKP. XLII. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů Ostrava, 2001.
- [C] Mácha, A.: Zjišťování materiálových vlastností pryže. XLIII. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů Zvolen, 2002.
- [D] Mácha, A.: Nízkocyklová únava rozpěrky parního kotle. XLIII. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů Zvolen, 2002.
- [E] Mácha, A.: Zdravotnické sanitní lehátko se třemi stupni volnosti. XLIV. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů Praha, 2003.

Přílohy

Příloha A (strana 1/3)

Katalogový list firmy Zimmermann



Dampflokomotive

BR 99 211

SPUR: 7 1/4"



Fertigmodell:
Best. Nr. L016

Maßstab: 1:4

Ein Kraftpaket, das durch unser Know how und unsere Erfahrung keine Wünsche offen lässt. Diese Maschine wird vor allem dort zur vollsten Zufriedenheit arbeiten, wo schwere Publikumszüge bei einem kontinuierlichen Betriebsablauf verkehren sollen. Dort wo es auf Zugkraft, Zuverlässigkeit, Kontinuität, Robustheit und Betriebssicherheit ankommt. Mit einer stark dimensionierten Bremse kann der vollbesetzte Zug sicher abgebremst werden. Der Betrieb dieser Lokomotive, sowie die dazugehörigen Wagen und das von uns erhältliche Gleismaterial ist TÜV geprüft und zugelassen.

Die Maschine ist selbst in unwesentlichen Details genau im Maßstab 1 : 4 gebaut.

Aus der Geschichte des Vorbilds

Das Vorbild dieser Dampflokomotive ist die Schmalspur-Tenderlokomotive der Wangerooger-Inselbahn.

Der Eisenbahnbetrieb auf Wangerooge wurde 1897 aufgenommen und war der einzige auf den sieben ostfriesischen Inseln, der von Anfang an als Staatsbahn betrieben wurde. Die Großherzoglich Oldenburgische Eisenbahn übergab drei kleinere B-gekuppelte Tenderlokomotiven der DRG.

Da der Bäderverkehr vor und nach dem ersten Weltkrieg stark zugenommen hatte und die Züge immer länger und schwerer wurden, wurde die Anschaffung einer leistungsfähigen Lokomotive notwendig.

Die BR 99 211 wurde als Einzelstück speziell für den rauen Inselbetrieb konzipiert, der robuste und einfache, sowie betrieblich sehr zuverlässige Lokomotiven benötigte. Die Deutsche Reichsbahn hat im Jahre 1929 diese Maschine mit der Betriebsnummer 99 211 von der Firma

Henschel & Sohn erworben. Die Lok verfügte über einen leistungsfähigen Kessel, dessen Verdampfungsheizfläche etwa 25 % größer war, als die der BR 99 022 oder der BR 99 023. Mit einer Reibungsmasse von 18,3 t übertraf sie die beiden Hanomag-Lokomotiven (12,2 t) beträchtlich. Auch an Leistung war sie ihnen überlegen. Mit ca. 40 % mehr Leistung wies sie beachtliche 105 kW auf.

1953 erhielt die BR 99 211 ihre letzte Hauptuntersuchung und wurde bis 1958 im Bestand geführt. Da ab den 50er Jahren auch auf Wangerooge Diesellokomotiven eingesetzt wurden, wurde die BR 99 211 im Jahre 1968 am Leuchtturm zur Erinnerung an den Dampflokbetrieb aufgestellt.

Technische Daten des Modells

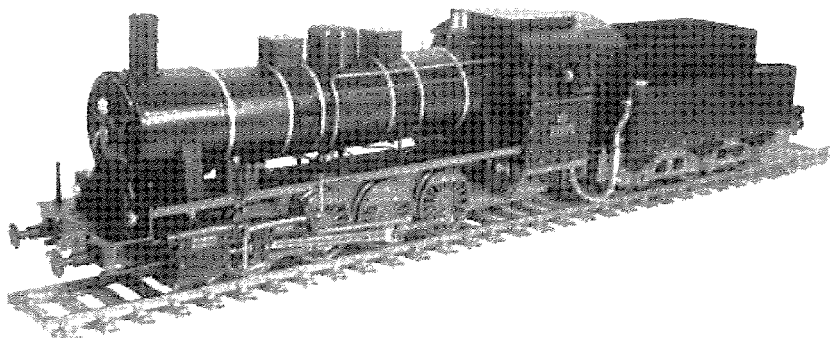
Maßstab	1 : 4
Spurweite	7 1/4" = 184 mm
Bauart	Cn2
Länge gesamt üP	1605 mm
Höhe über SOK	836 mm
Gesamtbreite	560 mm
Achsstand	250 - 250 mm
Treib- und Kuppelraddurchmesser	200 mm
Kleinster Kurvenradius	8 m
Zylinderdurchmesser	70 mm
Kolbenhub	106 mm
Rostfläche	6,5 dm
Kesseldruck (Satteldampf)	8 bar
Wasserkasteninhalt links	10,5 l
Wasserkasteninhalt rechts	8,5 l
Gewicht leer	450 kg
Mittelpufferkupplung	
Zugkraft in Personen	30-50



Dampflokomotive

BR 55 2781

SPUR: 5"



Aus der Geschichte des Vorbilds

Als Weiterentwicklung der G 8 wurde 1913 die G 81 vorgestellt, ihr war in den folgenden Jahren ein Erfolg beschieden, wie keiner anderen Lokomotive zuvor. Allein das Land Preußen bezog von mehreren Firmen insgesamt 4948 Maschinen in den knapp 8 Jahren bis 1921. Ungefähr 153 Maschinen traten ihren Dienst im Ausland an. Mit einer Stückzahl von 3122 Exemplaren bildet die Gattung G 81 eine große Stütze im Fahrzeugbestand der Deutschen Reichsbahn. Noch nach 1945 waren in beiden Teilen Deutschlands weit über 1000 Maschinen im Einsatz. Auch die G 81 erfuhr im Laufe ihres Lebens die üblichen Umbauten zur Reichs- und Bundesbahnzeit. Die Lok wurde genormt, was in einer Unzahl von weniger auffälligen Kleinarbeiten zum Ausdruck kam. Anlässlich von RAW-Aufenthalten zeichnete man die Lok 1925 - 1927 um, so dass sich die Eisenbahnfreunde, die damals von den Dampfloks an Zahl noch übertroffen wurden, an die Reichsbahnnummern und an eine Lackierung gewöhnen mußten. Die G 81 war nun als Baureihe 55 in schwarzer Lackierung zu sehen. Im Jahre 1968 waren bei der DR noch knapp 150 Stück und bei der DB etwas mehr als 50 Stück vorhanden. Die BR 55 2781 die im BW Nürnberg Hbf stationiert war, wurde am 18. November 1966 ausgemustert.

Bei der Konstruktion unseres kohlengefeuerten Modells wurde besonders Wert gelegt auf Funktionstüchtigkeit, Leistung und Modelltreue. Seit ihrem Erscheinen im Jahre 1974 hat diese Lokomotive bei unzähligen Einsätzen im In- und Ausland durch ihre viel bewunderte Zugkraft und Zuverlässigkeit überzeugt. Auch im Modell bleibt diese Maschine ihrem Ruf, eine der besten und zugkräftigsten Lokomotiven zu sein, treu.

Technische Daten der Lokomotive

Bauart	Dh2
Spurweite	5" = 127 mm
Treib- und Kuppelrad - Ø	135 mm
Länge über Puffer	1253 mm
Höhe über SOK	466 mm
Gesamtbreite	311 mm
Achsstand	150 - 150 - 150 mm
Zylinder - Ø	45 mm
Kolbenhub	64 mm
Rostfläche	3,9 dm ²
Kesseldruck	8 bar
Kleinster Kurvenradius	7 m
Gewicht leer	120 kg
Zugkraft in Personen	ca. 30

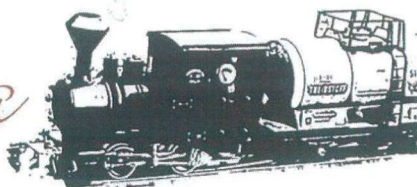
Technische Daten des Tenders

Länge	825 mm
Breite	310 mm
Höhe über SOK mit Sitz	400 mm
Höhe über SOK ohne Sitz	350 mm
Pufferhöhe	96 mm
Pufferabstand	160 mm
Wasserinhalt	19 l
Gewicht	ca. 50 kg

Příloha A (strana 3/3)

Katalogový list firmy REGNER

Frieda



Die Echtdampflokomotive Frieda ist eine einfache und robuste Maschine mit Gasfeuerung, die man haben sollte. Sie läuft auf allen Gleisen mit 45 mm Spurweite. Der Baumaßstab ist 1: 22,5. Die Maschine besitzt einen Flammrohrkessel mit Rohrbrenner, der über den Schornstein gezündet wird. Ein Umsteuerventil im Rahmen kann mit der Hand oder mit einem Fernsteuerservo betätigt werden und steuert dann vorwärts - rückwärts - langsam - schnell. Die Lokomotive ist lieferbar als Fertigbausatz, schwarz seidenmatt lackiert. Der Bausatz kann von jedem montiert werden. Es sind keine Löt- und Lackierarbeiten notwendig.



Technische Daten:

Gewicht 2,75 kg
Höhe 142 mm
Höhe über Kamin 162 mm
Breite 92 mm
Länge 242 mm
Bohrung 12mm
Hub 17 mm
isolierte Räder
Grundbausatz
Best.Nr. 20760 742,- €

● Spur 11m

Blick von oben in den Führerstand.
Das Bild zeigt eine vollausgebaute Frieda, die Rc-Anlage, Piezo-Zünder und das Speiseventil sind nicht im Grundbausatz enthalten.



<http://www.regner-dampftechnik.de/>

Příloha B

Svařovací dráty ESAB

ESAB

ESAB VAMBERK

OBALENÉ ELEKTRODY
DRÁTY PRO METODU MIG/MAG

OK AristoRod 12.50

Nepoméděný svařovací drát nové generace je určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních ocelí především tam, kde jsou vyžadovány vysoké svařovací parametry a nejvyšší podávací rychlosti drátu, tj. na mechanizovaných a robotovaných pracovištích, např. pro výrobu ocelových konstrukcí, tlakových nádob, transportních zařízení apod.; je vhodný i pro svařování jemnozrnných ocelí např. P235/S235 až P420/S420 aj.

Klasifikace, certifikace:		Typické chemické složení drátu (%):	
ABS	3SA, 3YSA	C	0,09
BV	SA3YM	Si	0,9
CE	EN 13479	Mn	1,5
DB	42.039.29	Svařovací proud:	
DNV	III YMS		
GL	3YS		
LRS	3, 3YS		
TUV	10052	Ochranný plyn (EN 439): C1, M21	
další:	CWB		

Balení:		
Ø (mm)	cívka	hmotnost (kg)
0,8	69-0/93-0	15/200
1,0	69-1/93-2/94-0	18/250/475
1,2	69-1/93-2/94-0	18/250/475

OK Autrod 12.51

Pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí pro výrobu tlakových nádob s pevností do 530 MPa a jemnozrnných ocelí s mezí kluzu >420 MPa např. P235/S235 až P420/S420. Drát umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo ní. Drát je dodáván i ve velikokapacitním balení MARATHON PAC™ (platí pro Ø 0,8; 1,0 a 1,2 mm).

Klasifikace, certifikace:		Typické chemické složení drátu (%):	
CE	EN 13479	C	0,09
ABS	3SA, 3YSA	Si	0,90
BV	SA3YM	Mn	1,50
DB	42.039.06	Svařovací proud: $I_{\text{a}} \pm [\pm]$	
DNV	III YMS		
GL	3YS		
LBS	3, 3YS		
TUV	00899	Ochranný plyn (EN 439): C1, M21	
RS	3YMS		
další:	PRS, Sepros		

Ø (mm)	cívka	hmotnost (kg)
0,6	46-0	5
0,8	46-0/76-0/77-0/93-0	5/15/15/200
1,0	46-0/76-0/77-0/76-1/77-1/93-2/94-0	5/15/15/18/18/250/475
1,2	76-0/77-0/76-1/77-1/93-2/94-0	15/15/18/18/250/475
1,6	76-1/77-1	18/18

OK Autrod 12.58

Poméděný drát, určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních i jemnozrnných ocelí. Je vhodný jak pro svařování částí tlakových nádob, tak i ocelí pro stavbu lodí a dílů z pozinkovaných plechů z ocelí s mezí kluzu do 380 MPa, např. P235/S235 až P355/S355 aj. Umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový přenos) i krátkým obloukem ve všech polohách. Drát OK Autrod 12.58 je totožný s dříve dodávaným typem C113.

Klasifikace, certifikace:		Typické chemické složení drátu (%):	
CE	EN 13479	C	0,10
BV	SA3YM	Si	0,60
DB	42.039.17	Mn	1,10
GL	3YS	Svařovací proud: $I_{\text{a}} \pm [\pm]$	
TUV	07653		
LRS	3,3YS		
		Ochranný plyn (EN 439): C1, M21	

Balení:		
Ø (mm)	cívka	hmotnost (kg)
0,6	46-0	5
0,8	46-0/76-0/77-0/93-0	5/15/15/200
1,0	76-0/77-0/93-2	15/15/250
1,2	76-0/77-0/93-2	15/15/250

SFA/AWS A5.18	ER70S-6
EN 440	G3Si1
W.Nr.	1.5125

Klasifikace svarového kovu:
EN 440 G 38 2 C G3Si1
EN 440 G 42 4 M G3Si1

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

dle	stav	ochr. plyn	R _e L (Rp0.2) (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (A ₄) (%)	KV (J)/°C			
						+20	-20	-29	-30
AWS	TZ0	C1	(>400)	>480	(>22)				
EN	TZ0	M21	470	560	26	130	90	>27	
EN	TZ0	C1	440	540	25	110	70		60
EN	TZ1	M21	370	495	28	120	90		

TZ0 - stav po svařování, TZ1 - stav po žhání/ 620 °C/15 h.

Celkový rozsah svařovacích parametrů:

Ø d (mm)	W	S	H	V (m/min)	U(V)	proud (A)
0,8	14	95	0,8- 2,5	3,2-10,0	18-24	60 - 200
1,0	16	96	1,0- 5,5	2,7-15,0	18-32	80 - 300
1,2	18	97	1,3- 8,0	2,5-15,0	18-35	120 - 380

SFA/AWS A 5.18	ER70S-6
EN 440	G3Si1

Klasifikace svarového kovu:
EN 440 G 38 2 C G3Si1
EN 440 G 42 3 M G3Si1

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

dle	stav	ochr. plyn	R _e i (Rp0.2) (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (A ₄) (%)	KV (J)/°C			
						+20	-20	-29	-30
AWS	TZ0	C1	(>400)	>480	(>22)				
EN	TZ0	M21	470	560	26	130	90	>27	
EN	TZ0	C1	440	540	25	110	70		70
EN	TZ1	M21	310	455	32	100	75		
EN	TZ2	M21	370	495	28	120	90		

TZ0 - stav po svařování, TZ1 - stav po norm. žhání 920 °C/0,5 h., TZ2 - stav po žhání 620 °C/15 h.

Celkový rozsah svařovacích parametrů:

Ø d (mm)	W	S	H	V (m/min)	U(V)	proud (A)
0,6	12	95	0,7- 1,7	5,5-13	15-20	30-100
0,8	14	95	0,8- 3,0	3,2-13	18-24	60 - 200
1,0	16	96	1,0- 5,6	2,7-15	18-32	80 - 300
1,2	18	97	1,3- 8,0	2,5-15	18-34	120 - 380
1,6	20	98	2,1 -11,4	2,3-12	28-38	225 - 550

SFA/AWS A 5.18	ER70S-3
EN 440	G2Si

Klasifikace svarového kovu:
EN 440 G 35 2 C G2Si

EN 440 G 38 3 M G2Si

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

dle	stav	ochr. plyn	Rel (Rp0.2) (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (A ₄) (%)	KV (J)/°C			
						+20	-18	-20	-30
AWS	TZ0	C1	(>400)	>480	(>22)		27		
EN	TZ0	M21	420	515	26	140	110		90
EN	TZ0	C1	375	485	25	125	90		

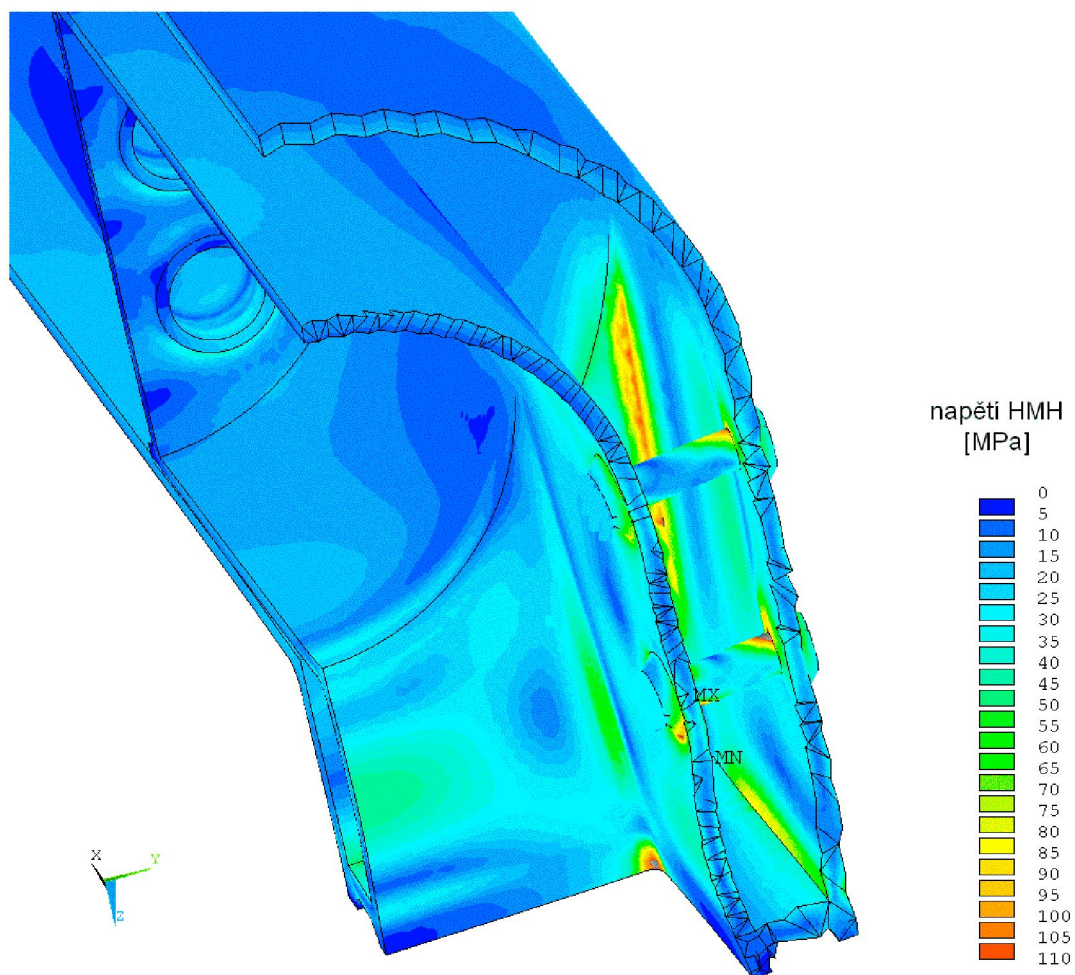
TZ0 - stav po svařování

Celkový rozsah svařovacích parametrů:

Ø d (mm)	W	S	H	V (m/min)	U(V)	proud (A)
0,6	12	95	0,7-1,7	5,5 -13,0	15-20	30-100
0,8	14	95	0,8 - 3,0	3,2-10,0	18-24	60 - 200
1,0	16	96	1,0-5,6	2,7-15,0	18-32	80 - 300
1,2	18	97	1,3-8,0	2,5 -15,0	18-34	120 - 380

Příloha C

Napětí od přetlaku 1MPa, pohled dovnitř pece.

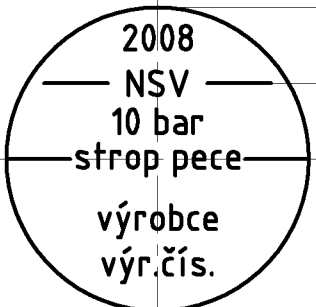


[illegible]

DISCO VFRRESO

SCHWULI MOO.

1.00 A-



krasné promítání
1st Anne Evajarian

Kotel - svarenec

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

©S18 VTRK

001-04 = kote

21.03.2008

Kotel - svarenec

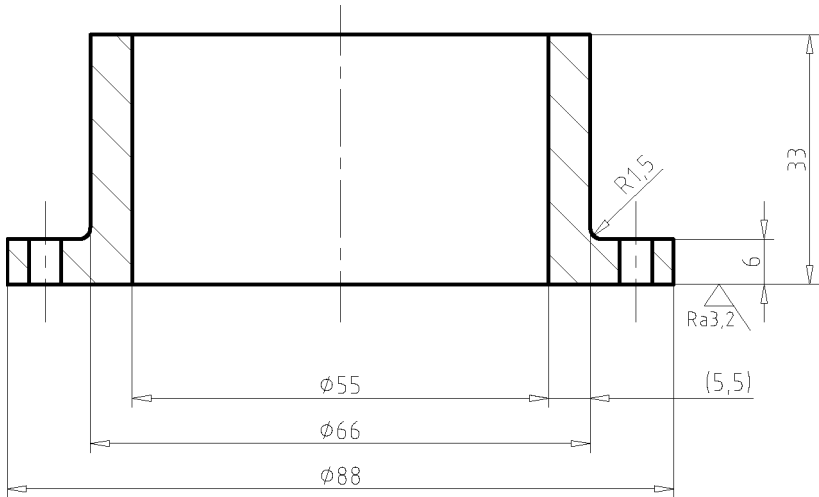
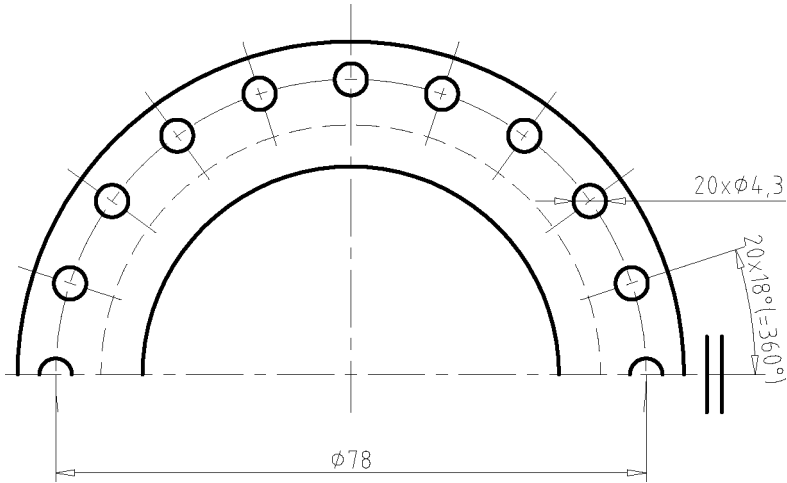
04 004

-0A-00A-

Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL
1				
2				
3				

Ra6,3

Ra3,2



Úchylky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

Tyč 090-38 CSN 42 5510 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

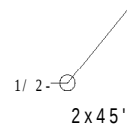
Dom

CÍSLO VÝKRESU

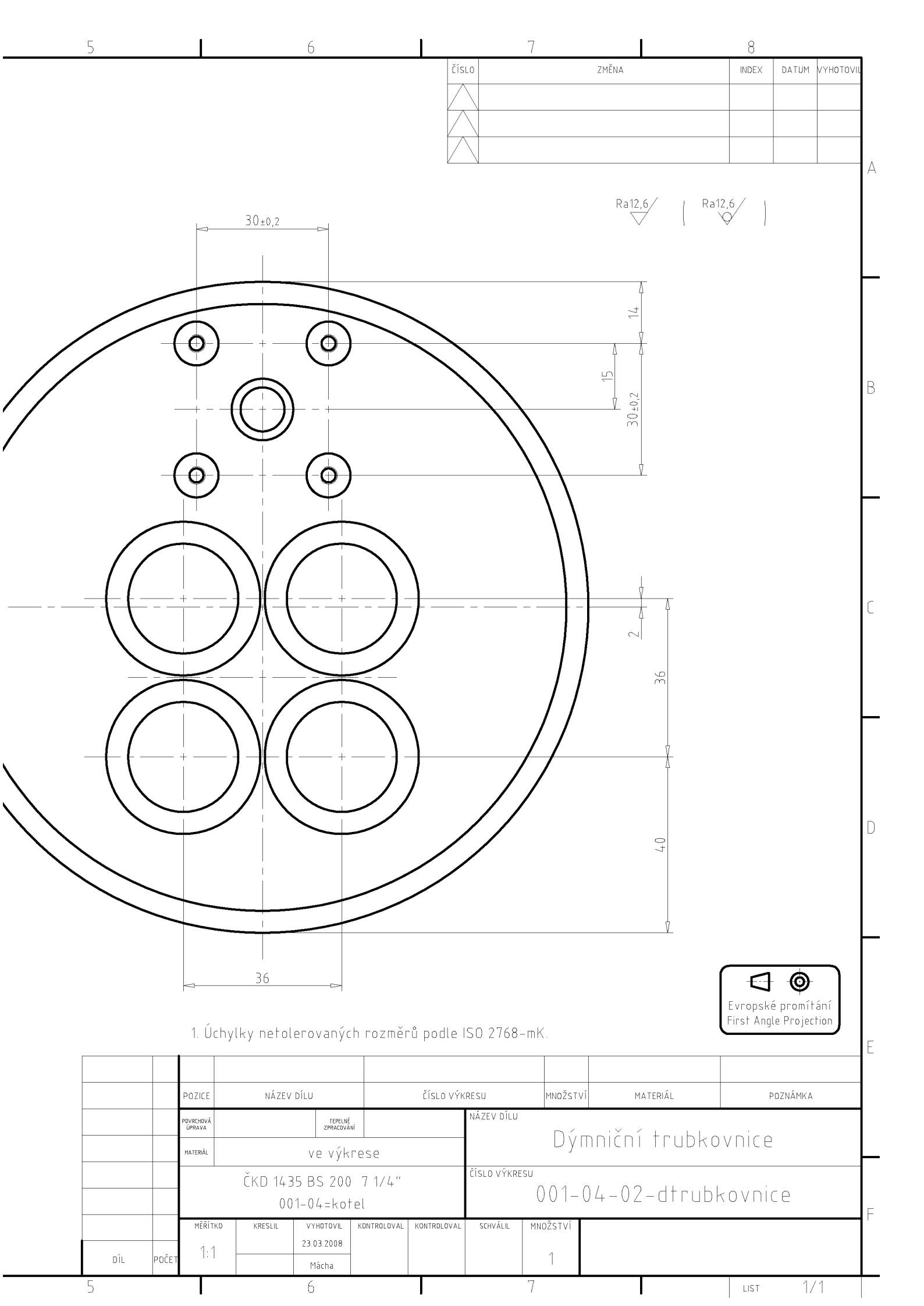
001-04-01-dom

4 x

012-22 CSN 42 5510 - P235GH



P6 160x160 CSN 42 5310 - P235GH



Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/\				
/\				
/\				

m
d

1x45°

12

&

Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

4HR10-18 CSN 42 6520 - 11 373.0

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Dymmce - držal

EISLO VÝKRESU

001-04-04-dvmdrzal

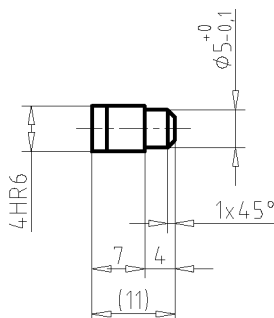
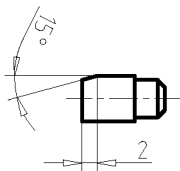
1

2

3

4

ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL
				
				
				

Ra6,3


Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CISLO VÝKRESU

4HR6-14 CSN 42 6520 - 11 373.0

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

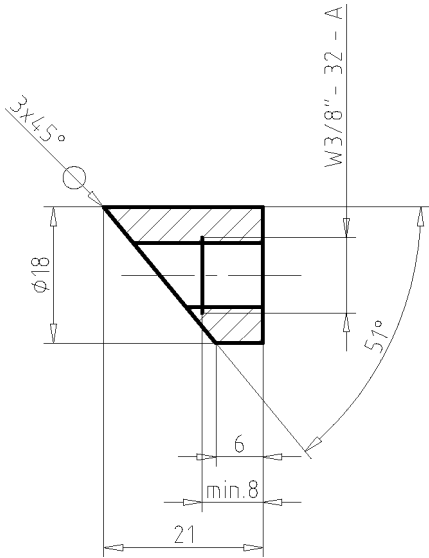
Dymmce - podpora

EISLO VÝKRESU

001-0^05-dympodpora

Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	// YHOTOVIL
1				
2				
3				

Ra6,3



1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CISLO VÝKRESU

Tyč 020-24 CSN 42 5510 - P2356G5

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

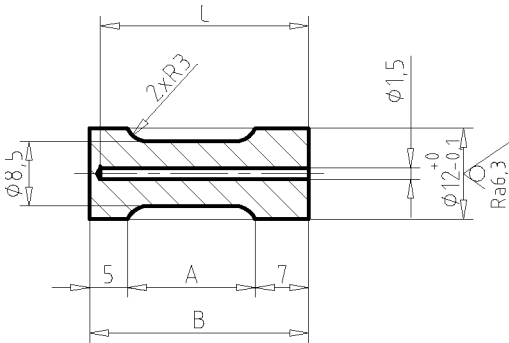
lapajec - příruba

EISLO VÝKRESU

001-04-06-napajecpnruba

Číslo	Změna	INDEX	DATUM	YHOTOVIL
^				
^				
^				

Ra6,3 /
Ra 6,3 .



horní rozpěrky, A=19mm, B=31mm, bez díry 4ks (s dírou 2ks, C=29,5mm)
polotovary; Tyč 012-33 ČSN 42 6510 - P235GH

dolní rozpěrky, A=17mm, B=29mm, bez díry 4ks (s dírou 2ks, (2=27,5mm)
polotovary; Tyč 012-31 ČSN 42 6510 - P235GH

a
^

Evropské promítání
First Angle Projection

Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

GKD 1435 BS 200 7 1/4"
001-04 = kotel

CISLO VÝKRESU

- 07 -

VYHOTOVIL KONTROLOVAL KONTROLOVAL
23.03.2008

DIL POČET

text

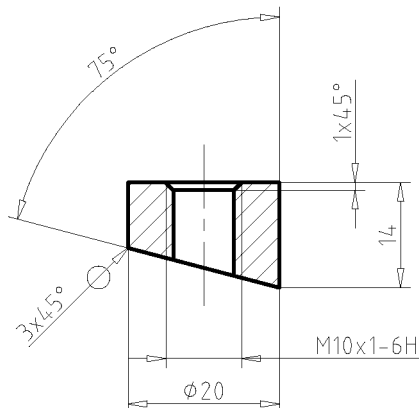
1

2

3

4

ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL
				
				
				

Ra6,3
Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchytky netoleroovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Tyč 022-18 CSN 42 5510 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

'001. ventil - příruba

CISLO VÝKRESU

001-0A--08-pojventiipriruba

4

Ra6,3

$$\text{id}^0$$

			/	/			I	-
M10 x 1 - 6 H	k							o i_n -t m
	p	—	020			o		

Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Tyč 022-12 CSN 42 5510 - P235GH

Odkalovař - příruka

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

CISLO VÝKRESU

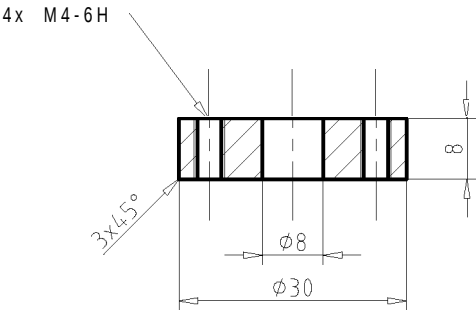
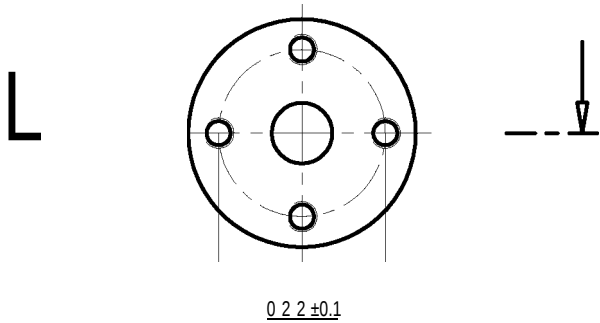
001-04 = kotel

001-0^ -09-odkalovacpruba

KRESLIL	VYHOTOVIL 23.03.2008
	Mácha

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
1				
2				
3				

$Ra_{6,3}$



Evropské promítání
 First Angle Projection

1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Číslo výkresu

Tyč 032-12 CSN 42 5510 - P235GH

Rozvaděcí hlava - příruba

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

Číslo výkresu

001-04 = kotel

001-04-10-rozvhLavapriruba

Kreslil	Vyhotovil
	23.03.2008
	Mácha

1	2	3	4																				
		<table><tr><th>ČÍSLO</th><th>ZMĚNA</th><th>INDEX</th><th>DATUM</th><th>VYHOTOVIL</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL																
ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL																			

Ra6,3

Ra6,3

Ra6,3/ (Ra6,3/)

í a 6,3

,5x45°

10 15
(25)

Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchytky netoleroovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CÍSLO VÝKRESU

Tyč 010-28 CSN 42 6510 - 11 373.0

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Dymmce - šroub

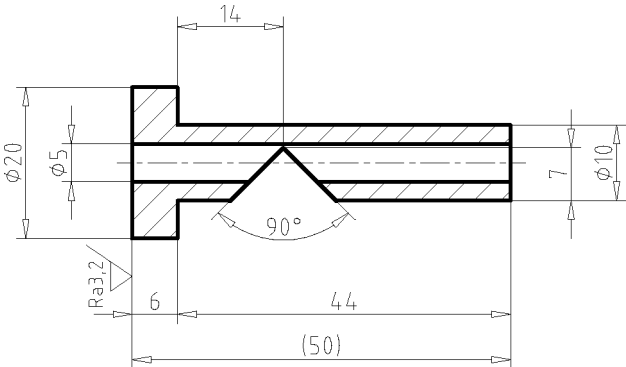
CÍSLO VÝKRESU

001-04-11-dvmsroub

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
1/1				
2/2				
3/3				

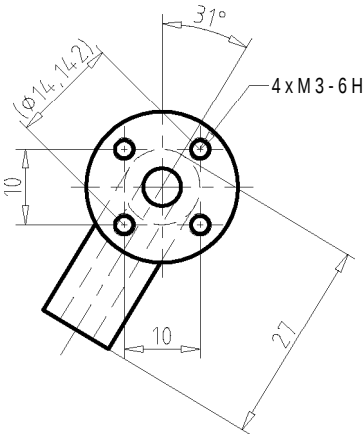
o var

Ra6,3/ Ra3,2/



a

a varen



V -
E =

tah*

20

- Počet kusů: 1ks PRAVÝ (na výkrese), 1ks LEVÝ.
- Po ohnutí zavařit, svar V2
- Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

a ^

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

032-55 CSN A2 5510 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

VYHOTOVIL KONTROLOVAL KONTROLOVAL

23.03.2008

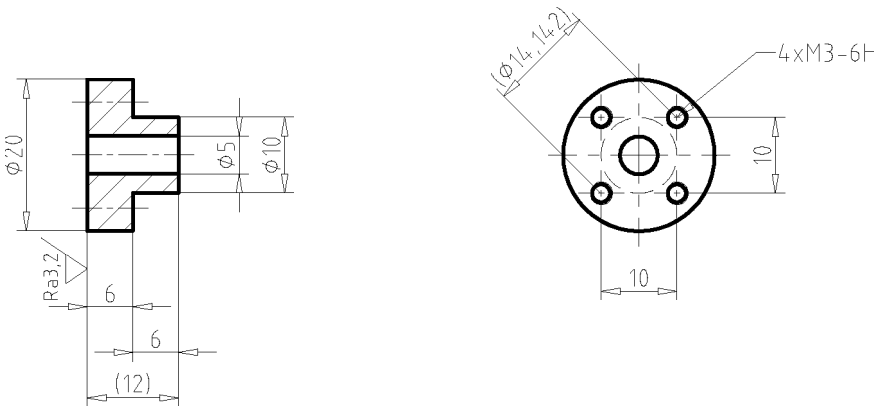
příruba H

CÍSLO VÝKRESU

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
1				
2				
3				

Ra6,3

Ra3,2



1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

Tyč 022-15 CSN 42 5510 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

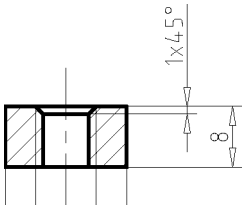
Vodoznak - příruba D

CÍSLO VÝKRESU

001-0V-13-vodoznpnrubad

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
1				
2				
3				

Ra6,3



M8-6H

011

Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchyly netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Tyč 018-12 CSN 42 5510 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

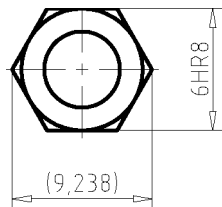
001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

ovník - příruba

CISLO VÝKRESU

001-0V-K-oiovmkpnruba



Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	/ YHOTOVIL
Λ				
Λ				
Λ				

R a 6,3 .

+0
05-o;

a Λ

Evropské promítání
First Angle Projection

Úchylky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Snoub M5x80 ISO 4014 - 8.8 - Zn

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

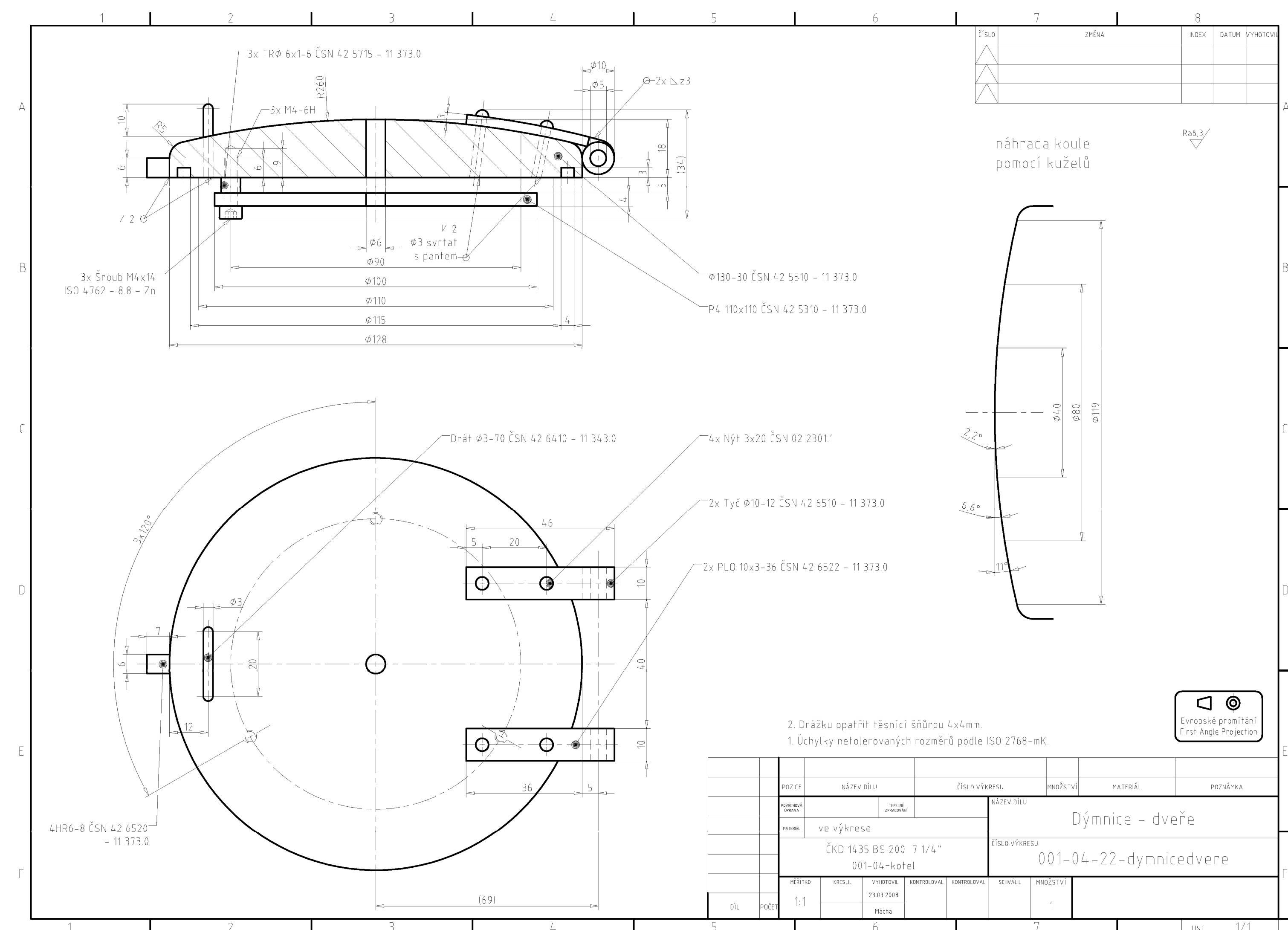
VYHOTOVIL KONTROLOVAL KONTROLOVAL

23.03.2008

Dymmue - řep

CISLO VÝKRESU

001-04-21-dymnicecep



Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/				
/				
/				

R a 6,3 .

YIY

:

a © '

Úchytky netoleroovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CISLO VÝKRESU

Dymmce - třmen

4HR10-152 CSN 42 6520 - 11 373.C

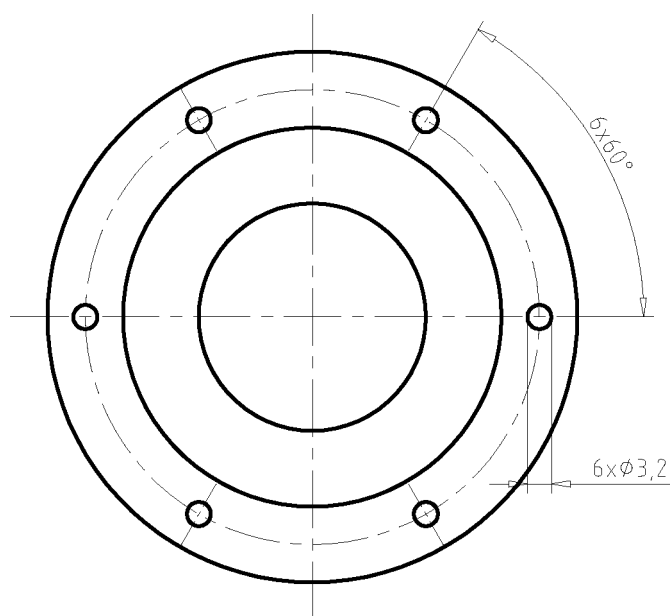
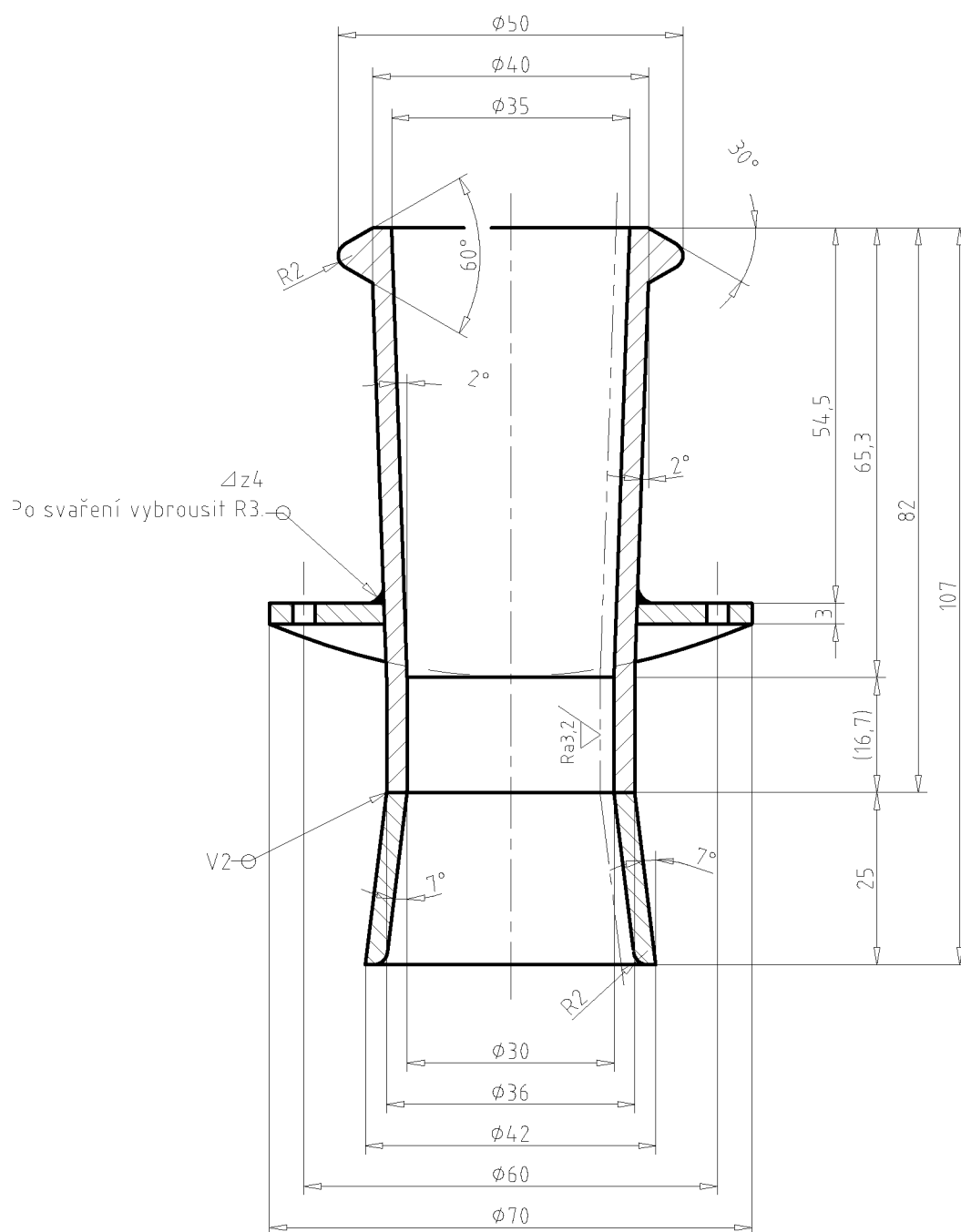
CKD 1435 BS 200 7 1/4 "

001-04 = kotel

CISLO VÝKRESU

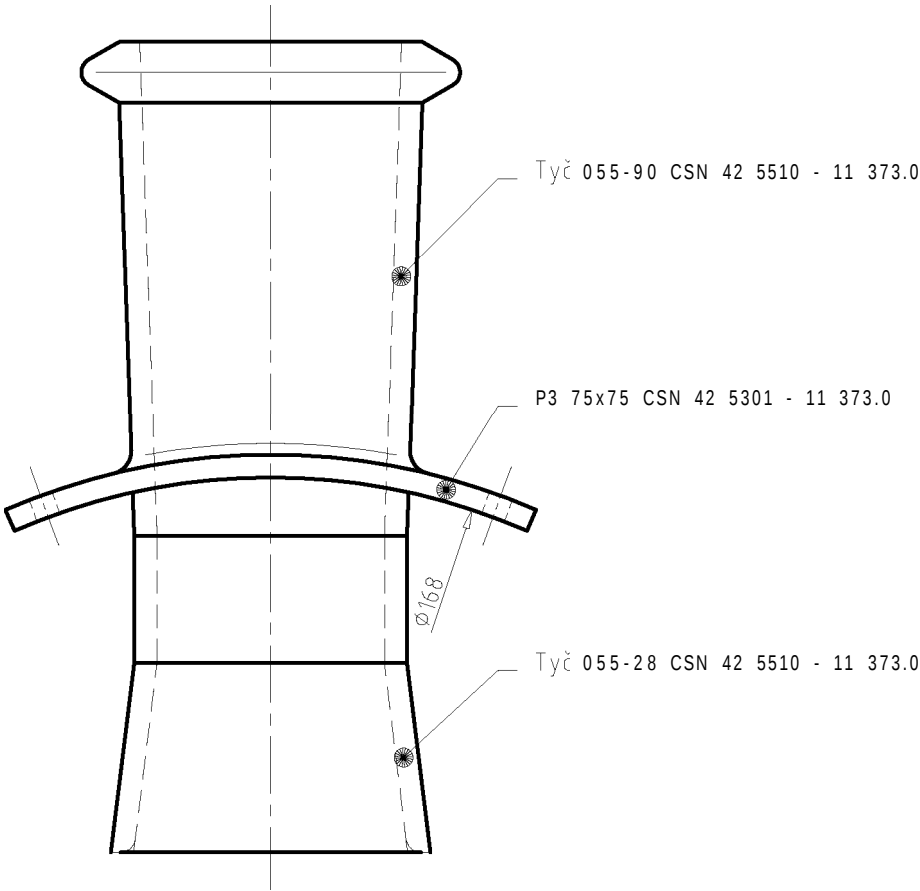
001-04-23-dvmnicetrmen

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha



ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	JY HOTOVIL
1/1				
2/2				
3/3				

Ra6,3/ I Ra3,2/



D

a ^

Evropské promítání
First Angle Projection

IJchylky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

ve výkrese

CKD 1435 BS 200 7 1/4"
001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23 03 2008
	Mácha

ce - komín

CISLO VÝKRESU

001 - (K -

UST

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/				
/				
/				

	055		
	073		

1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

Dom - těsnění

KLINBER PTFE 1mm

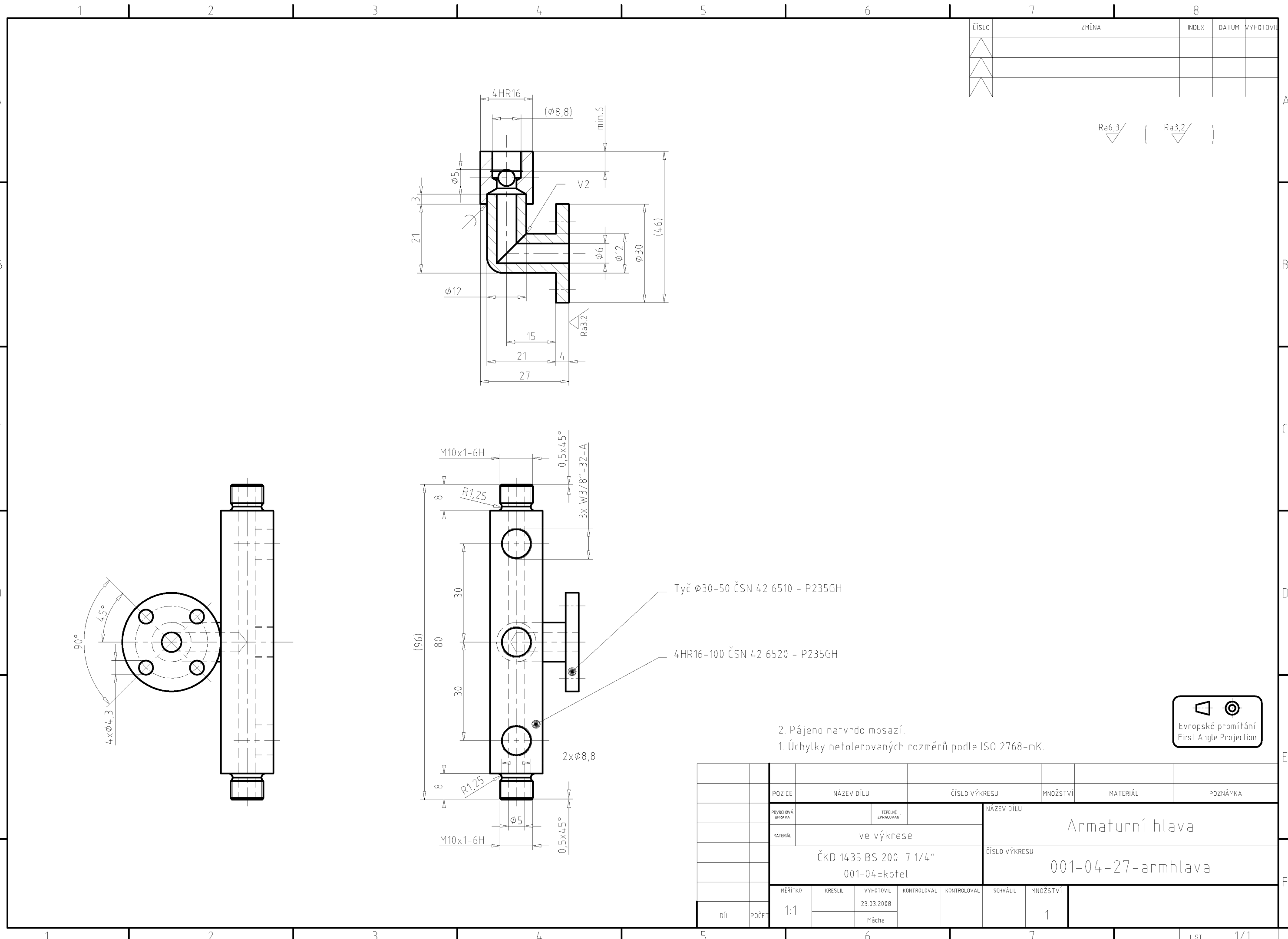
CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

CÍSLO VÝKRESU

001-04-26-domtesnen

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha



Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/				
/				
/				

	06	
	017	

1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CISLO VÝKRESU MNOŽSTVÍ MATERIAL

,rm. hiava - těsněň'

KLINGER PTFE 1MM

CKD 1435 BS 200 7 1/4"
001-04 = kotel

CISLO VÝKRESU

001-0^ -28-armhiavatesnen

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Číslo	Značka	Index	Stav	Typ
1				
2				
3				

Raš



100

2. Neoznačené úseky 3"
1. Jizbyky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-MK

Číslo výrobku

roš: KABOR (složek, mst. 42 2x20)

CKD 1435 95 200 7 1/4"

001-04-29-rost

PROJEKT KONSTRUKCE KONSTRUKCE SCHVÁL VYKRESL

20.02.2008

a ^

Konstrukce: KONSTRUKCE
Příst. a/roš: PŘÍST. A/ROŠ

Rošt

001-04-29-rost

1	2	3	4			
		ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM	VYHOTOVIL
						
						
						

Ra6,3


A

$\hat{I}^{\Delta I}_{U>}$

O

O

M10x1-6H

3 0±0,2

40

Evropské promítání
First Angle Projection

1. IJchylyk netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

eguiator - příruba

P10 CSN 42 5310 - P235GH

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

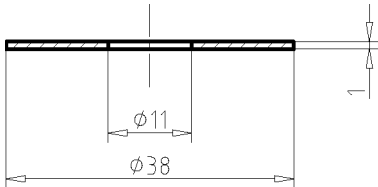
001-04 = kotel

CISLO VÝKRESU

001-02-30-reguiatorpnruba

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/				
/				
/				



1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

Regulátor - těsnění

KLINGER PTFE 1mm

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

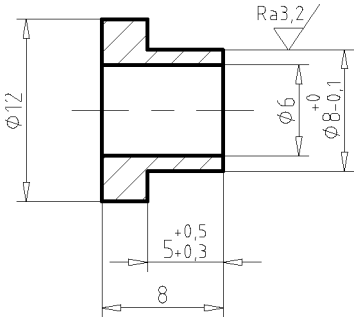
CÍSLO VÝKRESU

001-02-31-reguiat ořtesnen

1	2	3	4
ČÍSLO	ZMĚNA	INDEX	DATUM

Ra6,3/

(
Ra3,2/
)



1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projection

CÍSLO VÝKRESU

Kotej - držal

řyc014 CSN 42 5510 - 11 600.0
CKD 1435 BS 200 7 1/4"
001-04 = kotel

CÍSLO VÝKRESU

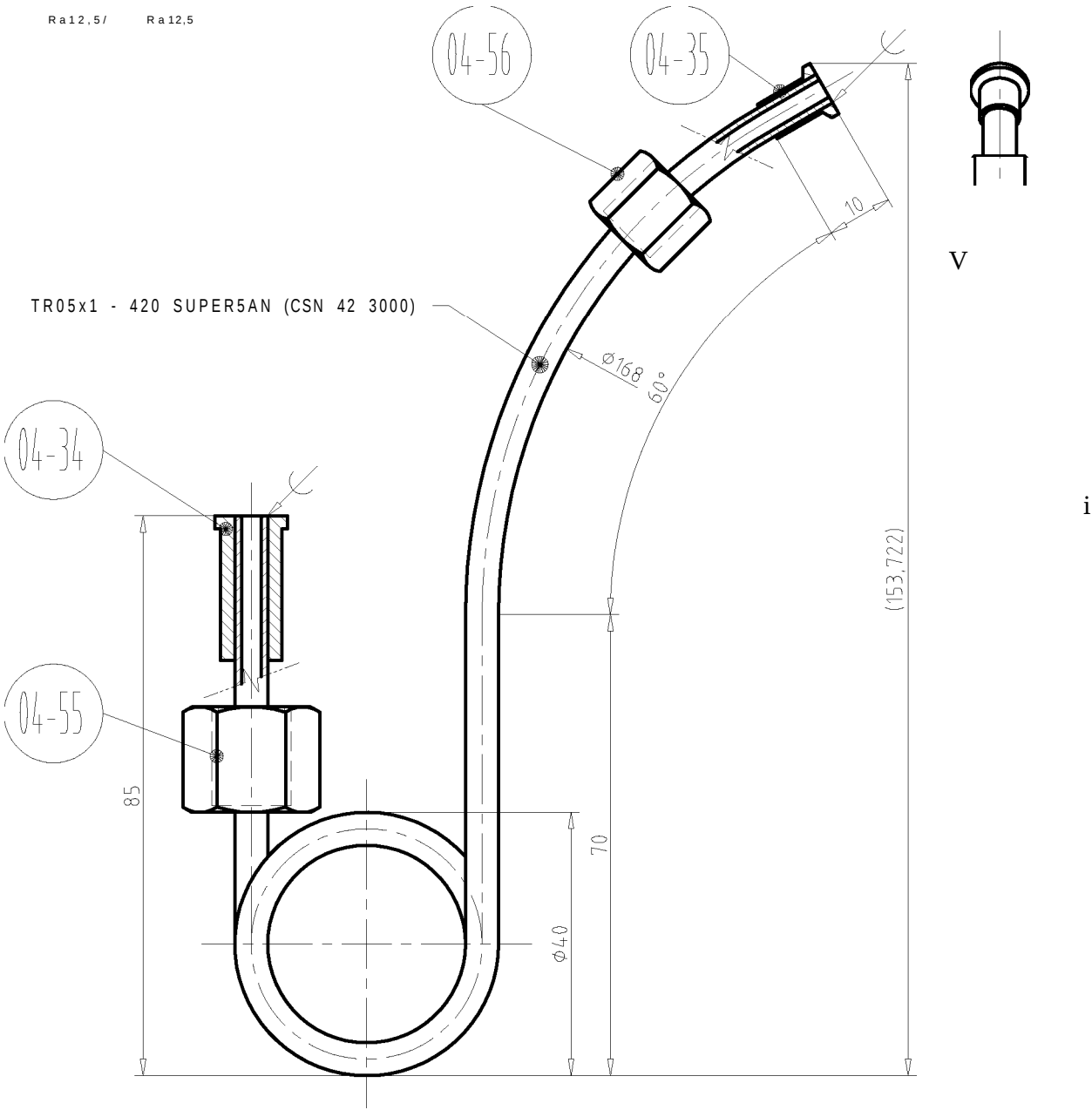
001-0d-32-koteidrzak

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	YHOTOVIL
^				
^				
^				

a ^
Evropské promítání
First Angle Projection

Ra12,5/ Ra12,5



2. Pájeno natvrdo mosazí
1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

04-56	Převlečná matice M10x1	LIS Jablonec		
04-55	Převlečná matice G1/B"	LIS Jablonec		
04-35	Tlakoměr - příruba H	001-04-35-tlakomerprirubah	1	
04-34	Tlakoměr - příruba D	001-04-34-tlakomerprirubad	1	
POZICE	NÁZEV Dílu	Číslo VÝKRESU		

Tiakoměr - trubka

ve výkrese

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

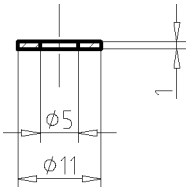
001-04 = kotel

Číslo VÝKRESU

- 02 -

VYHDToVib	KONTROboVAb	KONTRObDVAL	SCHVAUb	MNOZSTV
23.03.2008				

Číslo	Změna	Index	Datum	Vyhotovil
/				
/				
/				



1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

Evropské promítání
First Angle Projectioo

CÍSLO VÝKRESU

'odoznak - těsněn'

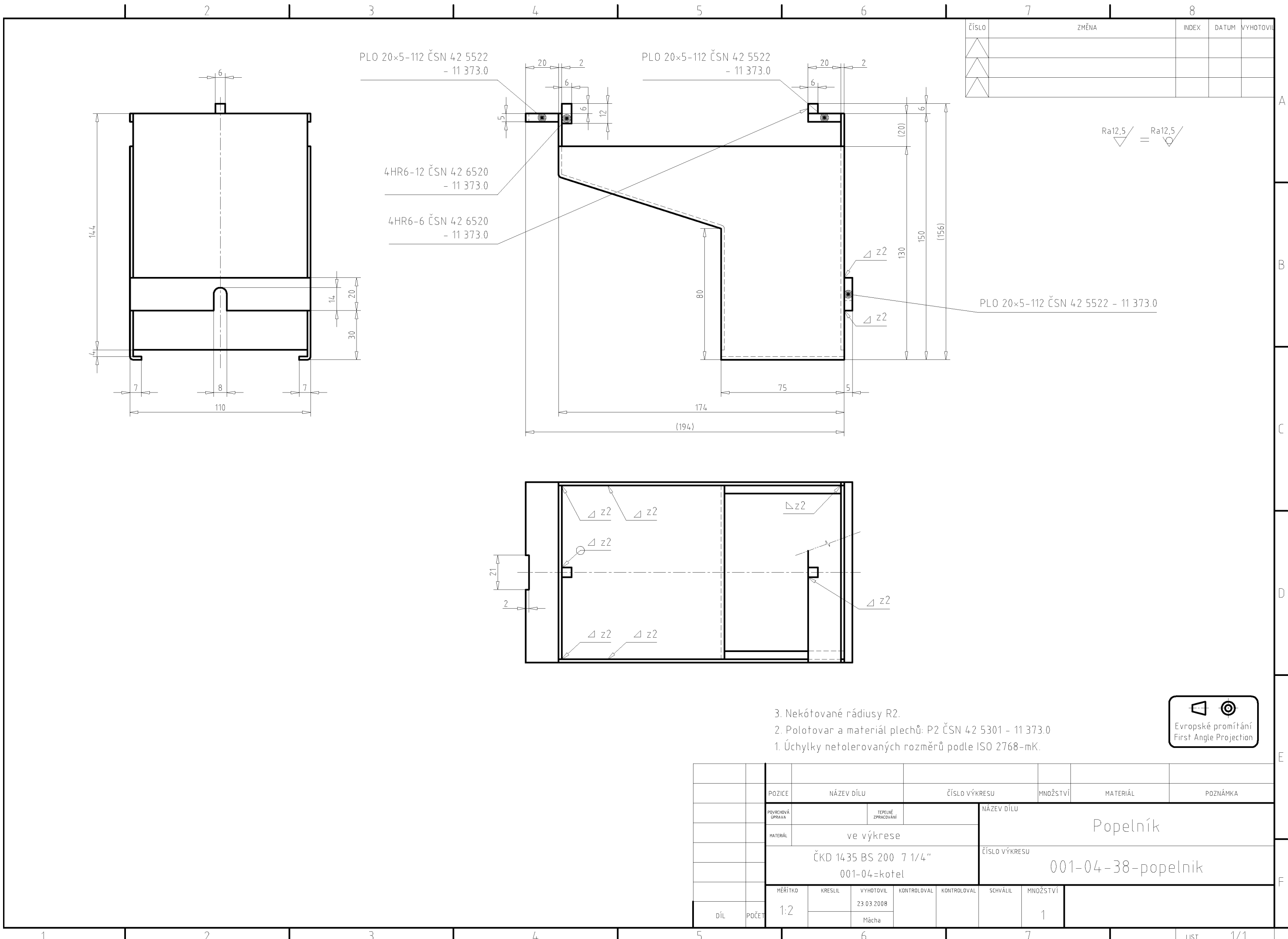
KLINGER PTFE 1mm

CKD 1435 BS 200 7 1/4"
001-04 = kotel

CÍSLO VÝKRESU

001-02-37-vodotesnen

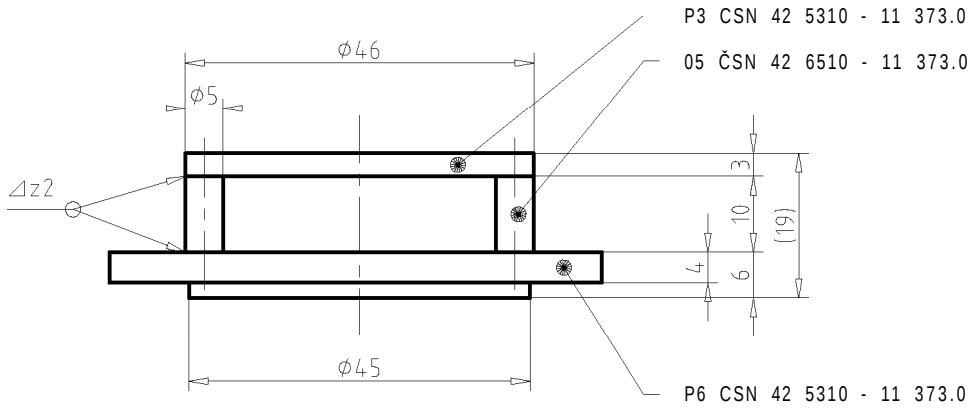
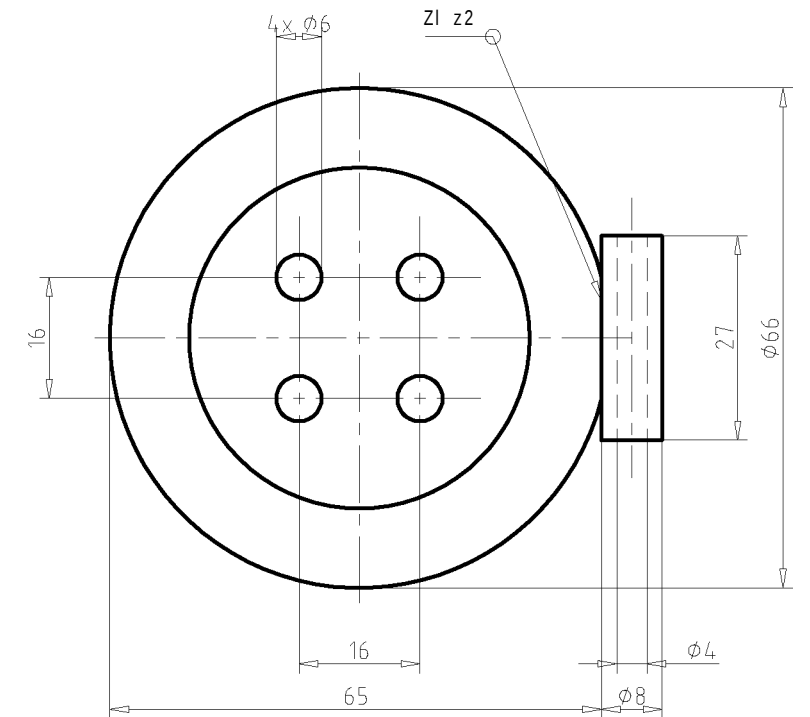
KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha



		RODOK		NÁZEV PRŮ		Číslo výrobku		PROJEKT		MATERIÁL		PŘÍJÍMA	
VÝROBNÍ PRŮ		VÝROBNÍ PRŮ		NÁZEV PRŮ									
PRŮ				ve výšce				Popelník					
ČKD 14.35 BS 200 7 1/4"				Číslo výrobku									
001-04-38-001				001-04-38-popelník									
RODOK		MATERIÁL		VÝROBNÍ PRŮ		VÝROBNÍ PRŮ		MATERIÁL		PROJEKT			
1.2										1			
04		001		1.2		1		1		1/1			

Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	/ YHOTOVIL
1				
2				
3				

Ra6,3/



a ^

Evropské promítání
First Angle Projection

Úchytky netoleroovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Dvířka

ve výkrese

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

CISLO VÝKRESU

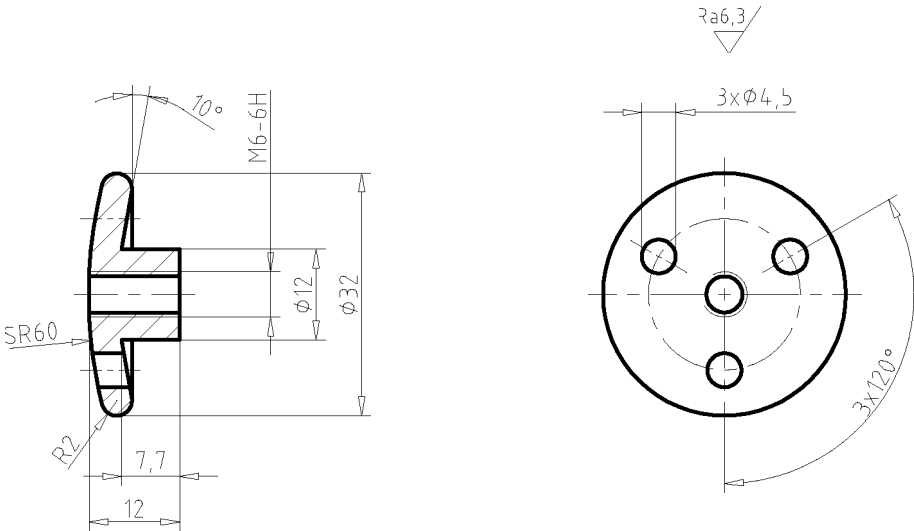
001-04 = kotel

001-04-39-dvirka

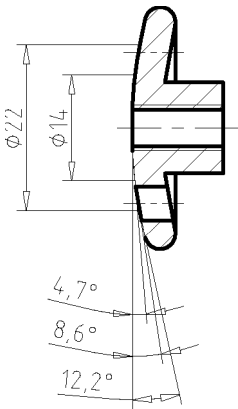
VYHOTOVIL KONTROLOVAL KONTROLOVAL

23.03.2008

Číslo	ZMĚNA	INDEX	DATUM	/ YHOTOVIL
/				
/				
/				



nahrada koule



Evropské promítání
First Angle Projection

1. Úchyly netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

CISLO VÝKRESU

Dymmue - utakovauí kolečko

tyč 032 ČSN A2 5510 - 423223 (Ms58Pb2)

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

CISLO VÝKRESU

001-04-k0-d\\mniceufahkolecko

KRESLIL	VYHOTOVIL
	23.03.2008
	Mácha

Číslo	Změna	Index	Datum	/ YHOTOVIL
1				
2				
3				

Ra 6,3/
Ra 1,1

Ra 1,6 /		CTI	
4 v y		VO	
-		A	
		S : V	
4,5		0,5x45°	1
	76		
	(80,5)		

2. Po výrobě díl nalisovat na díl "Dýmce - utahovací páka" , č.04-42
1. Úchytky netolerovaných rozměrů podle ISO 2768-mK

a
^

Evropské promítání
First Angle Projection

CISLO VÝKRESU

Dýmce -

závitová tyč M6 - Zn - 11 373.0

CKD 1435 BS 200 7 1/4"

001-04 = kotel

VYHOTOVIL
KONTROLOVAL
KONTROLOVAL

23.03.2008

CISLO VÝKRESU

001 - 1

