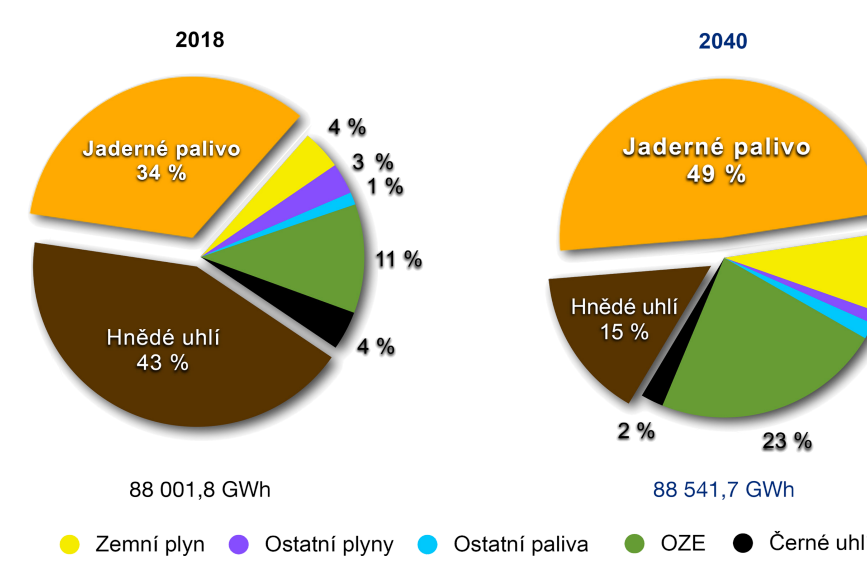


Motivace

- Dlouhodobá životnost provozu klasických a jaderných elektráren.
- Snížení neplánovaných odstávek výrobních bloků.
- Zvýšení technické a jaderné bezpečnosti elektráren.
- Absence normativního přístupu k heterogenním svarovým spojům.
- Hlavními zdroji elektrické energie v ČR jsou uhelné a jaderné elektrárny, jejichž konstrukce jsou zhotoveny z řady materiálů a řeší se jejich napojení
- Současný vývoj směřuje k predikci a znalosti chování heterogenních svarových spojů v provozních podmínkách.



Cíle práce

- Navržení podkladu pro normativní přístup k provádění a hodnocení heterogenních svarových spojů pomocí mikrotvrdosti.
- Stanovení vhodnosti přidavných materiálů a konstrukčních řešení s ohledem na degrační procesy: creep, SCC aj.
- Zvýšení životnosti heterogenního svarového spoje stanovením návrhu jeho konstrukčně-technologického provedení.

Varianta 1 - svarový spoj z uhlé elektrárny

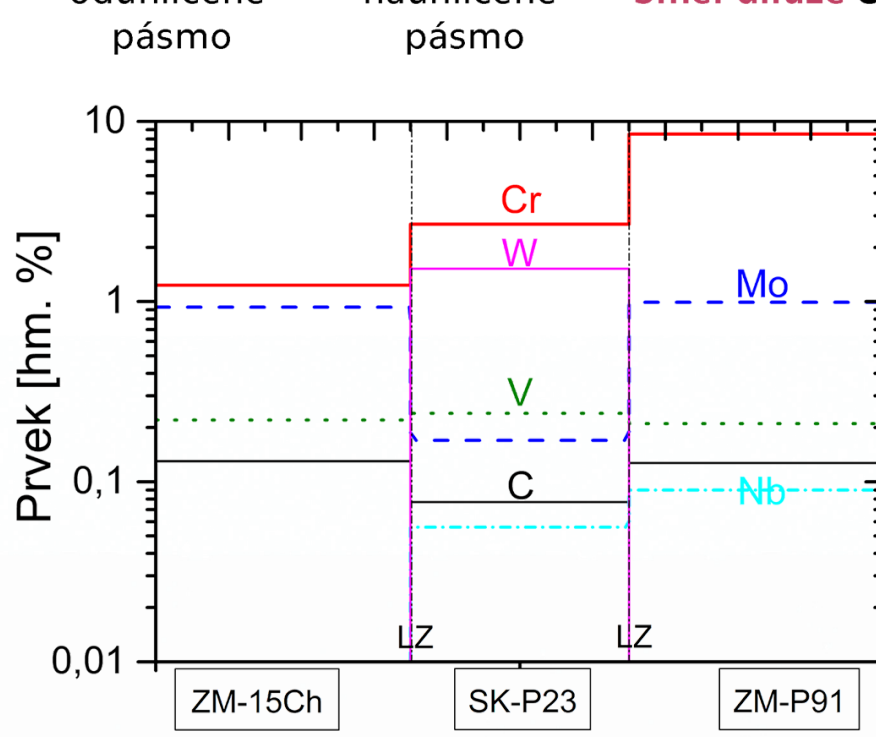
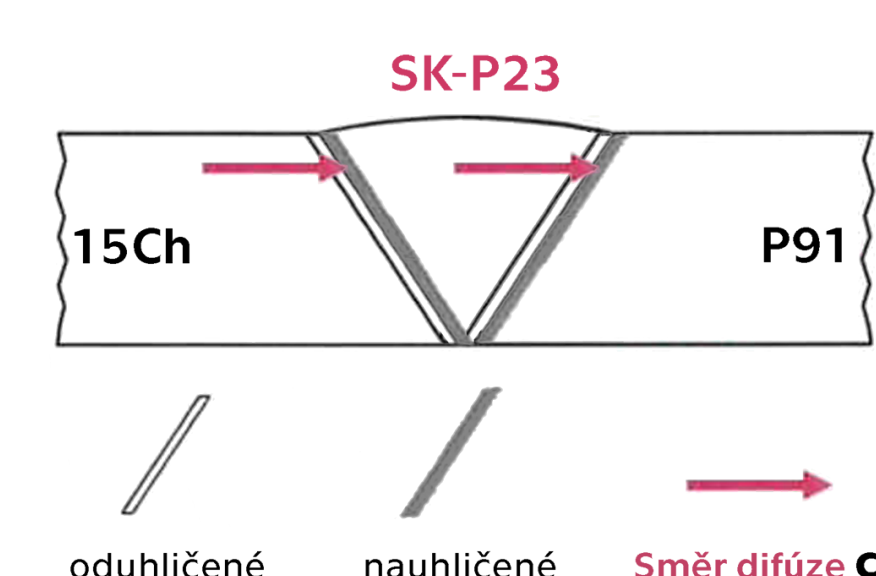
Výpočet CALPHAD

Termodynamická a difúzní stabilita s určením vhodného přidavného materiálu pro předpokládanou životnost 10 let při 540 °C

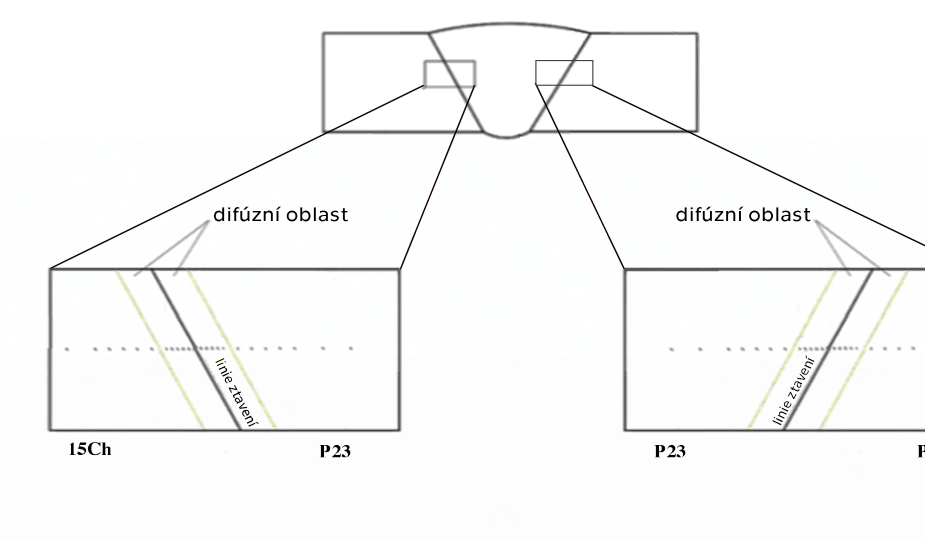
Teplotní expozice



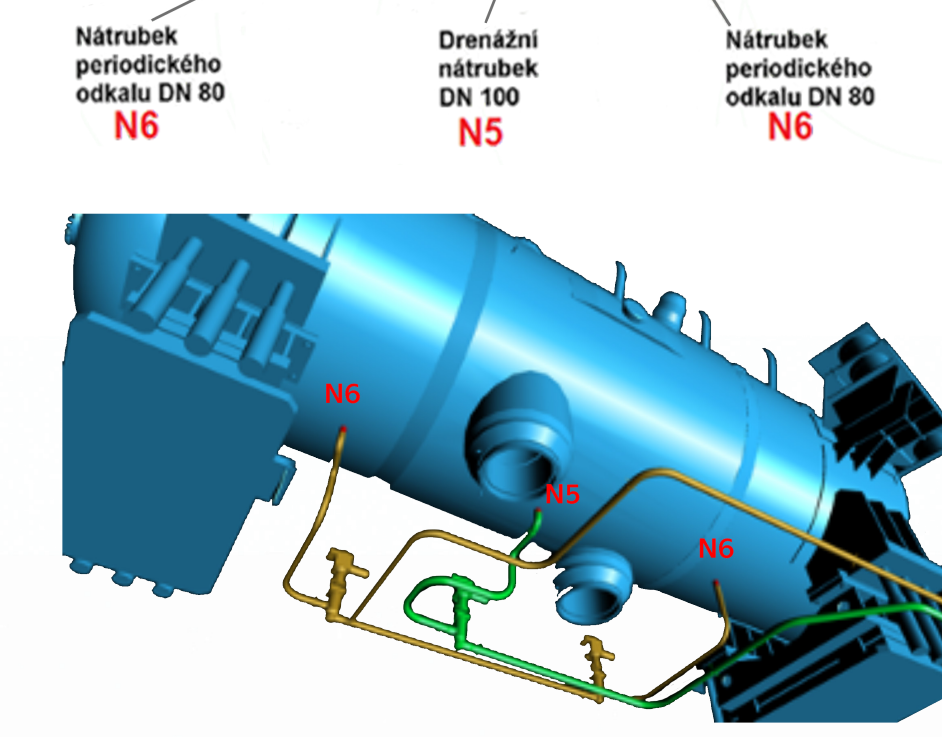
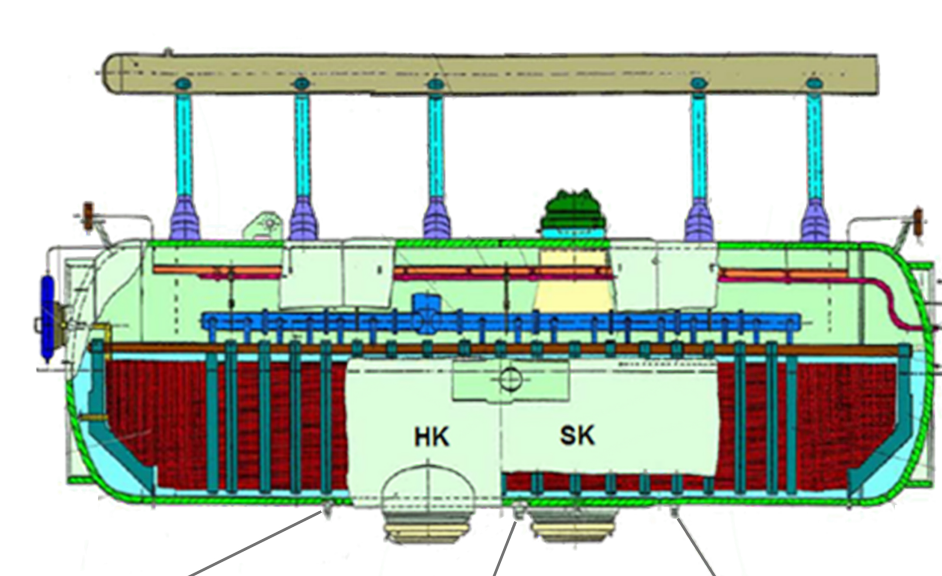
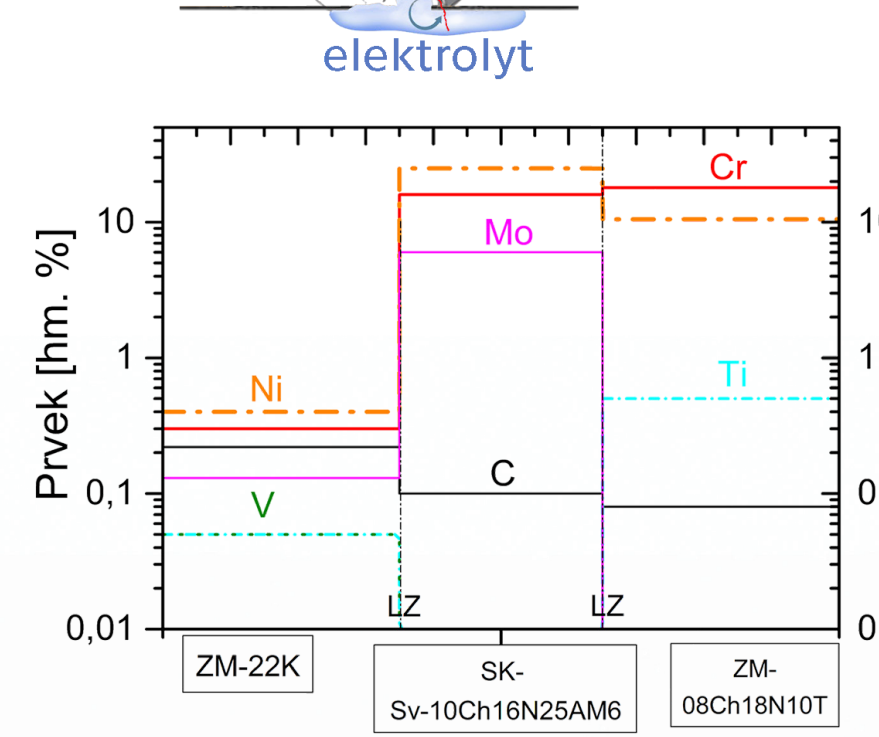
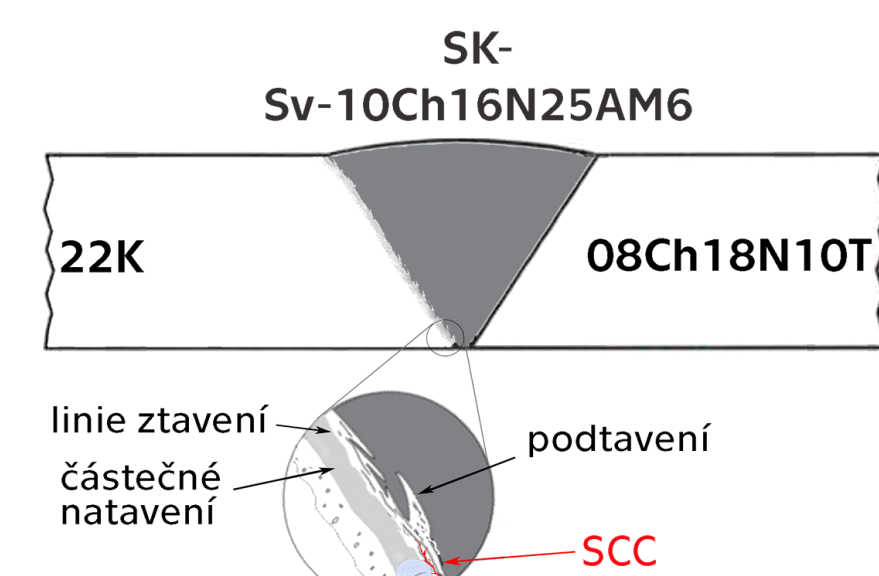
VS po PWHT; 600 °C a 650 °C / 100; 500; 1000; 2000; 5000 a 10 000 hodin



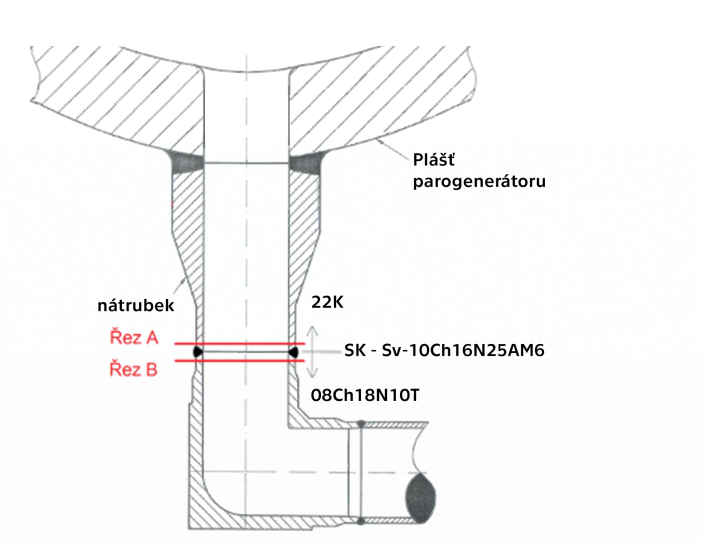
- Svetelná mikroskopie;
- liniové EDS a WDS analýzy chemického složení
- mechanické zkoušky - tvrdosti (HV10 a HV0,1); tahem; rázem v ohybu; tečením.



Varianta 2 - svarový spoj z jaderné elektrárny



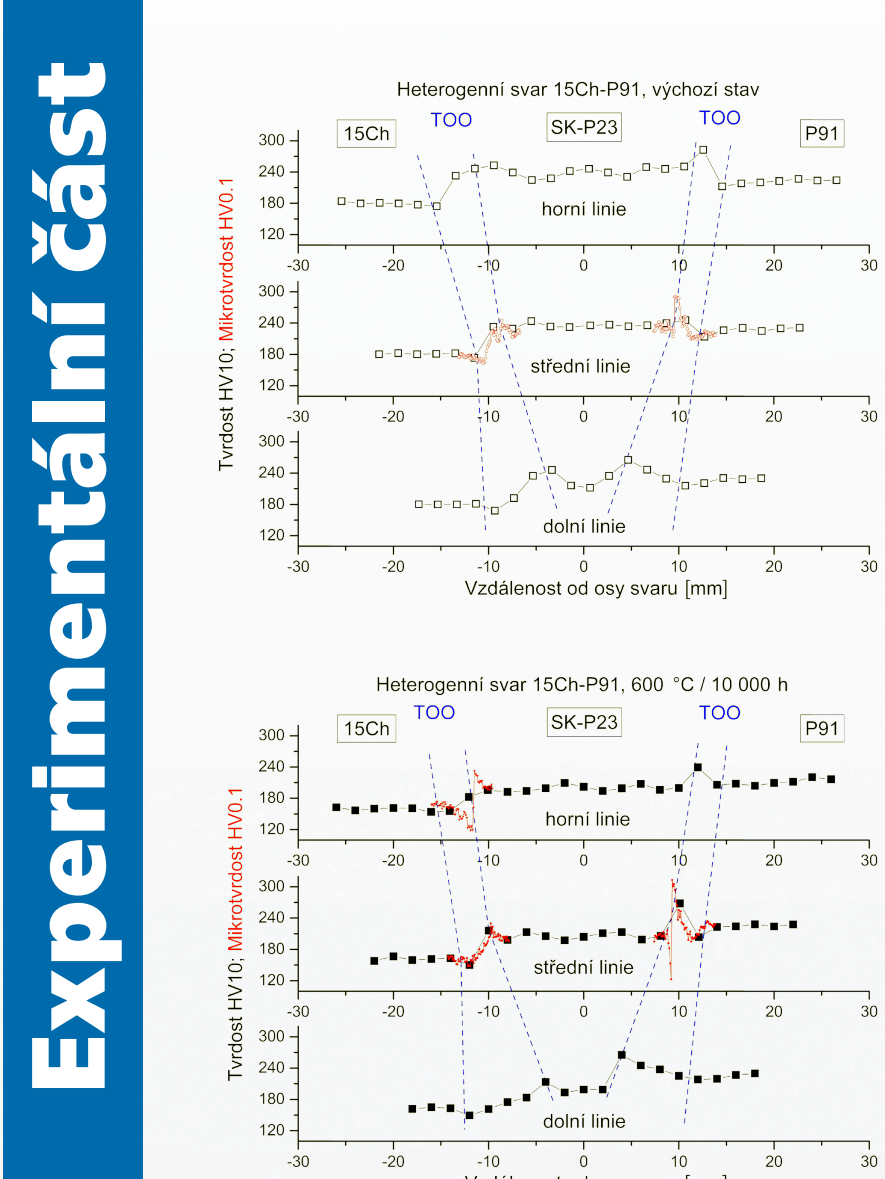
- NDT zkoušky - VT; RT a CT
- DT zkoušky - nepřímá VT; metalografický rozbor;
- liniové EDS a WDS analýzy chemického složení;
- mechanické zkoušky - tvrdosti (HV10; HV0,1; HV_{IT});
- fraktografie.



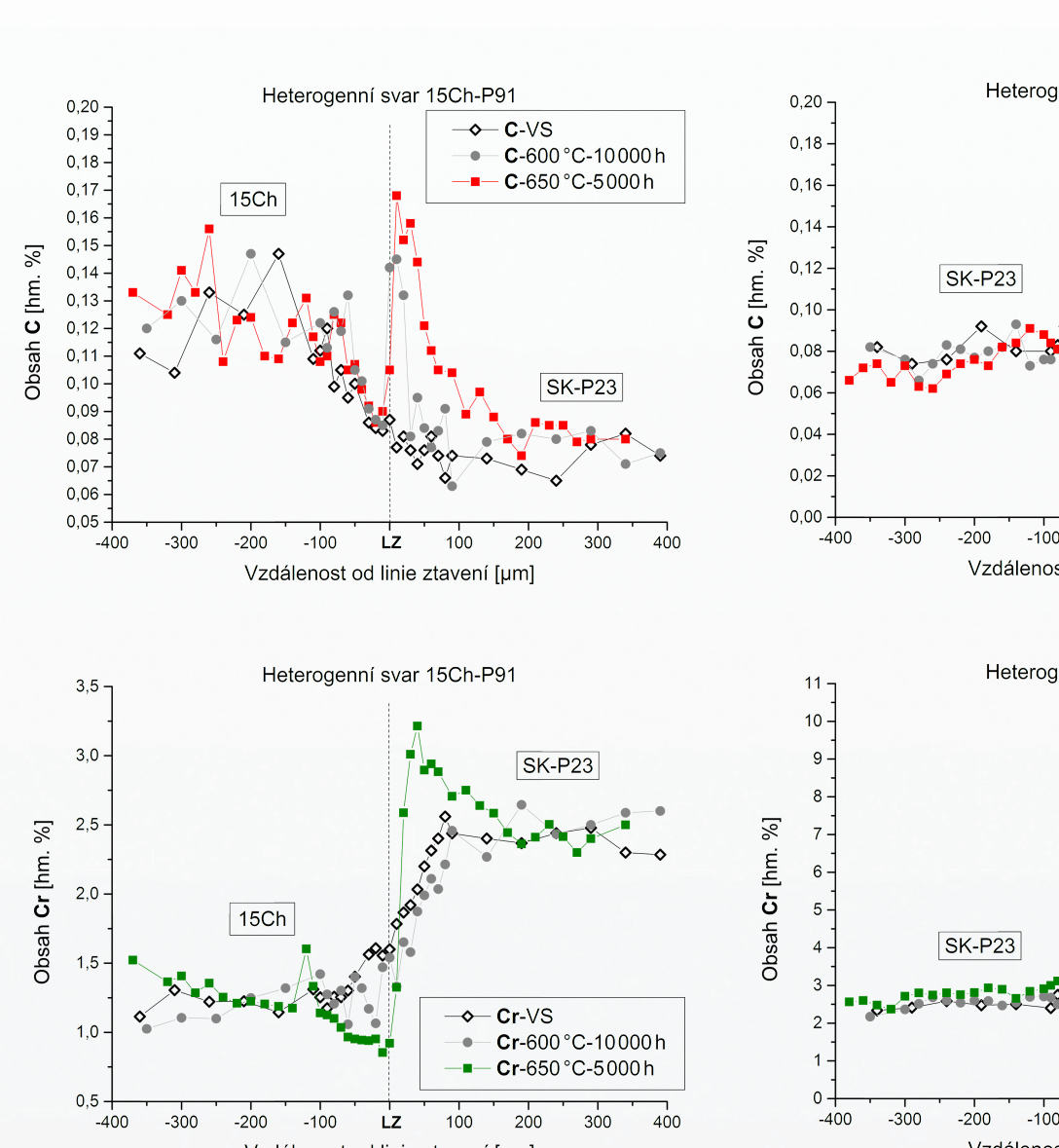
Metodika

Metodika

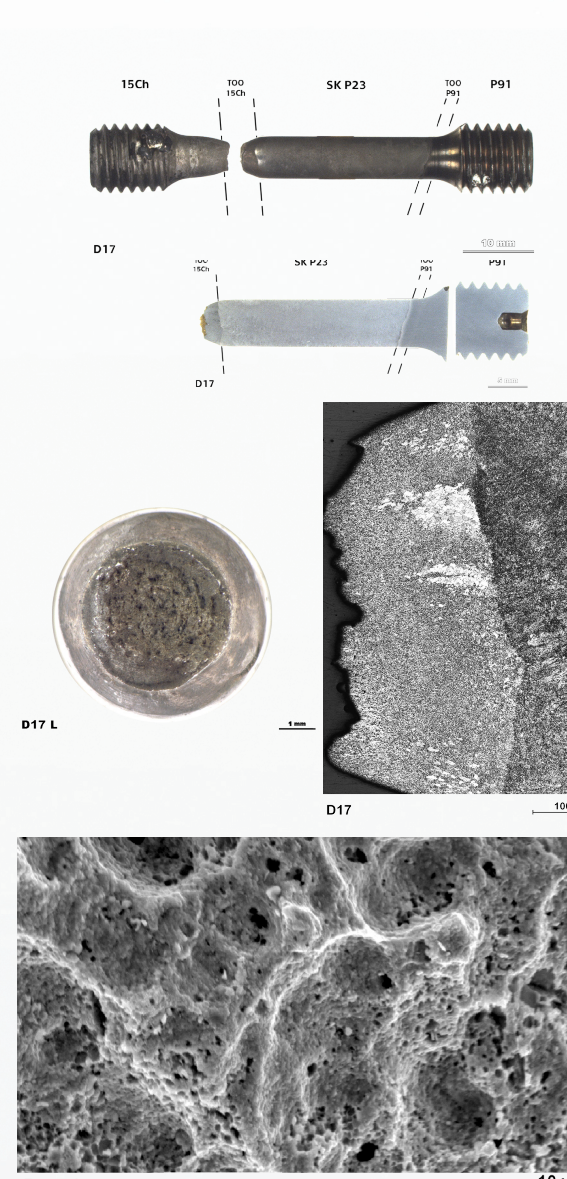
Tvrdost HV10; HV0,1



Liniové WDS analýzy



Zkouška tečení



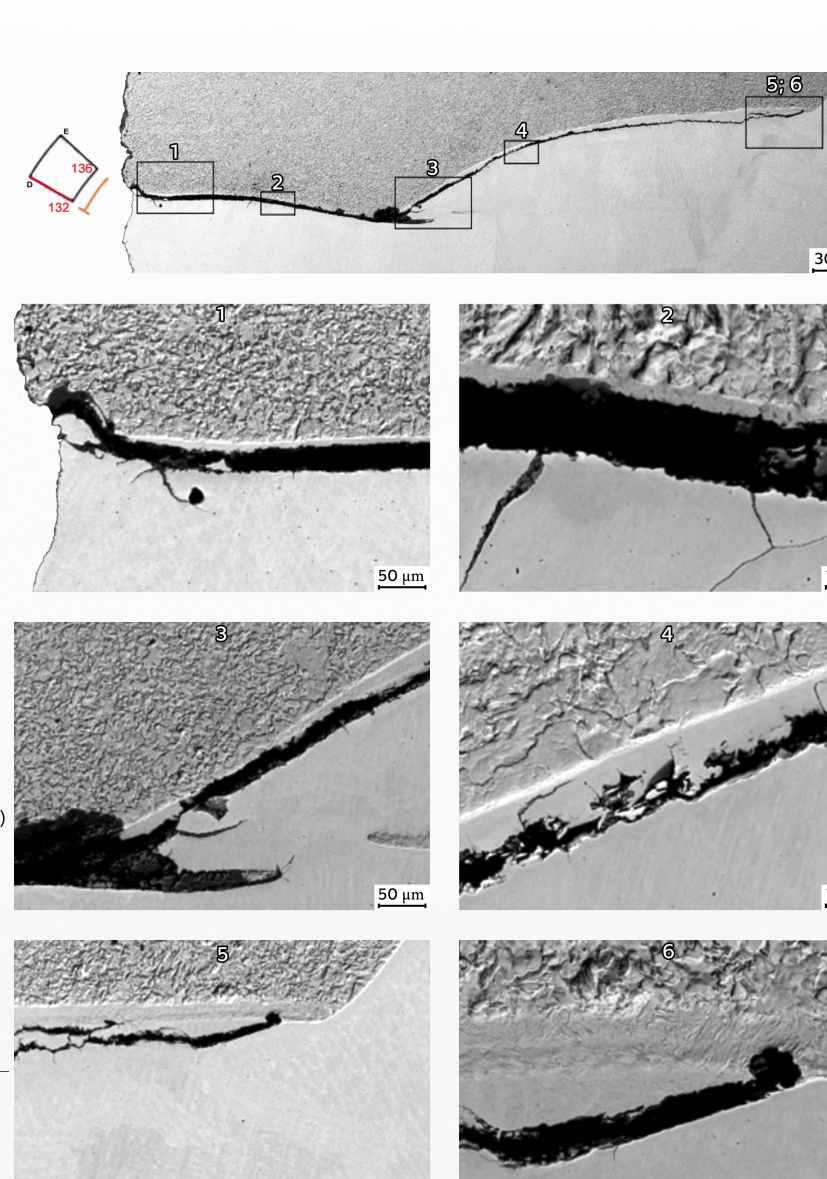
Experimentální část

Experimentální část

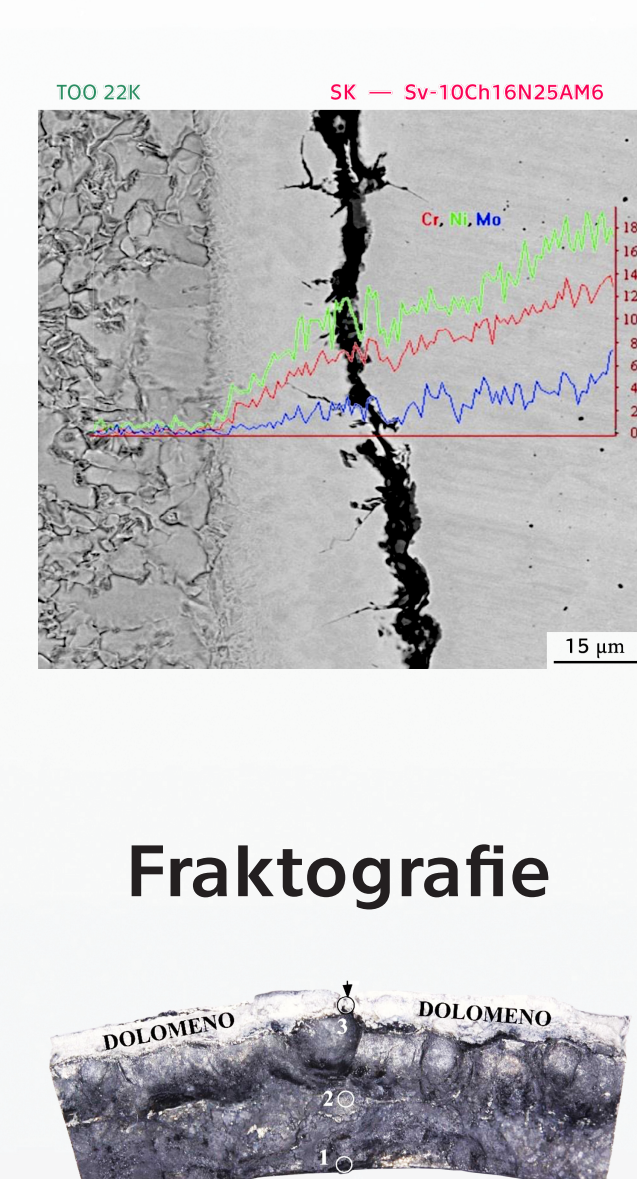
NDT



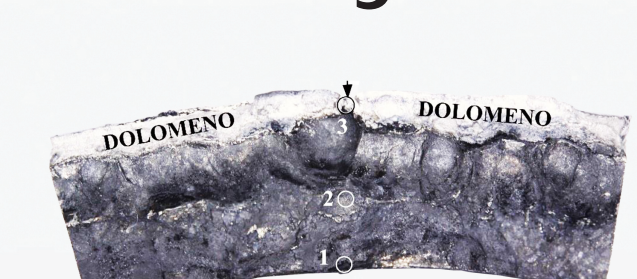
Světelná mikroskopie



EDS

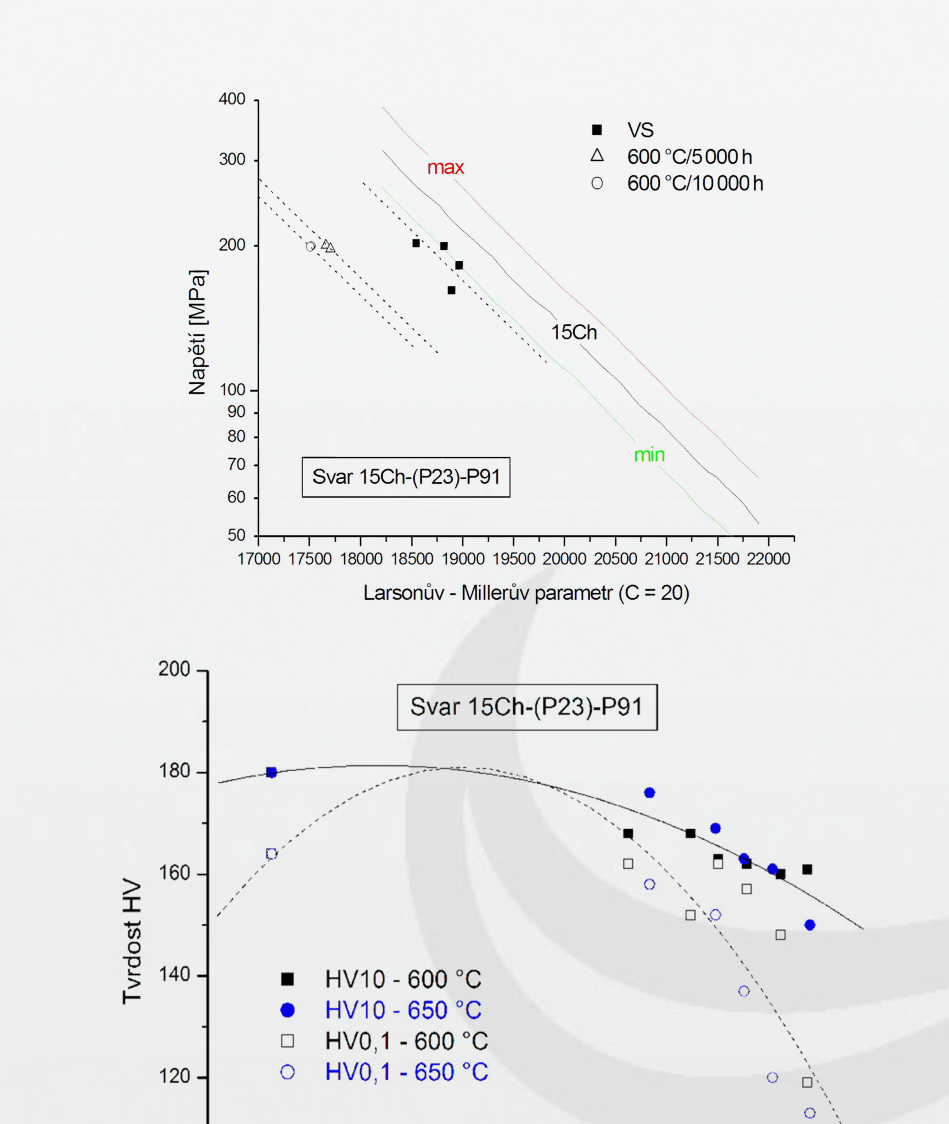
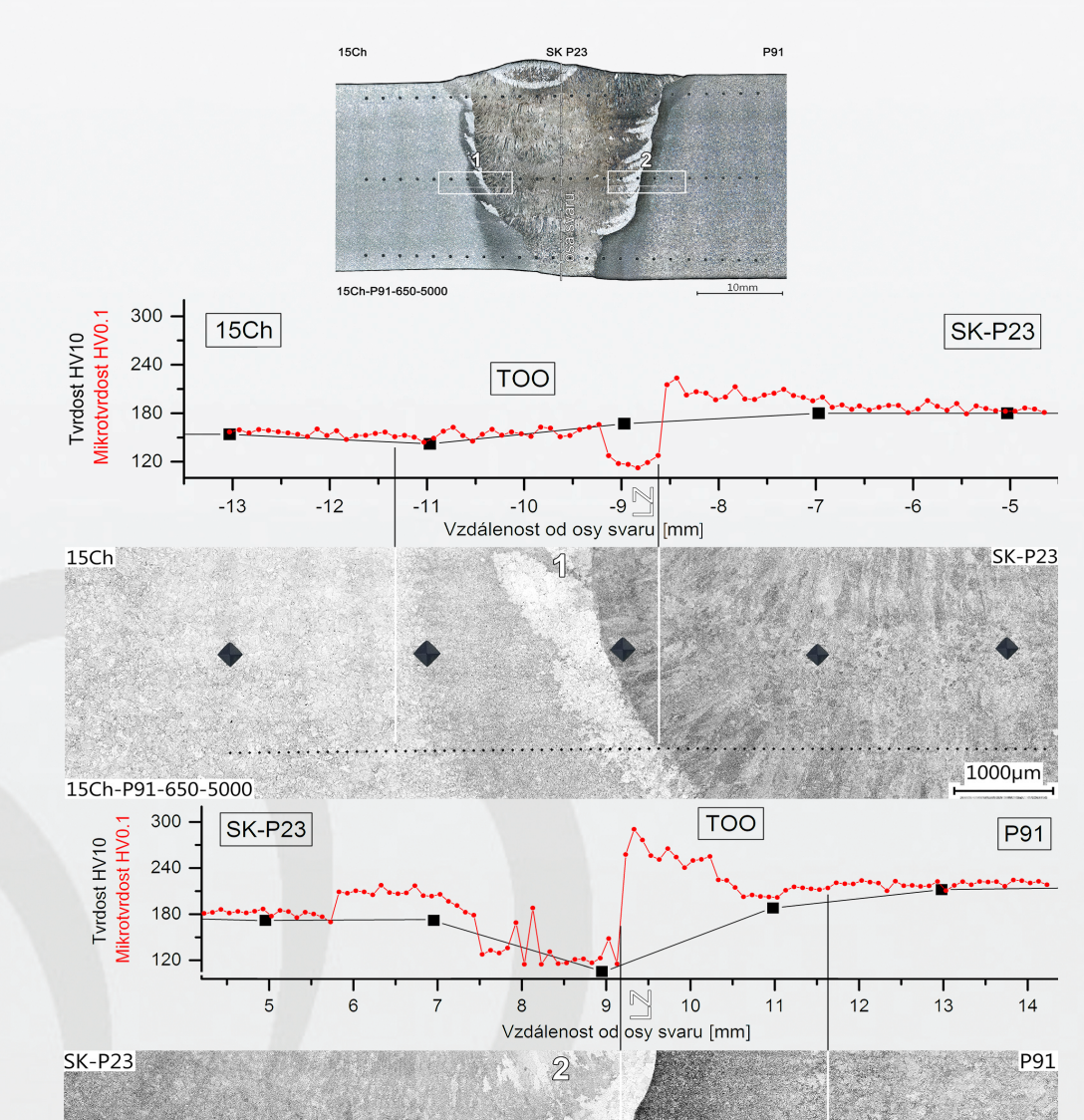


Fraktografie



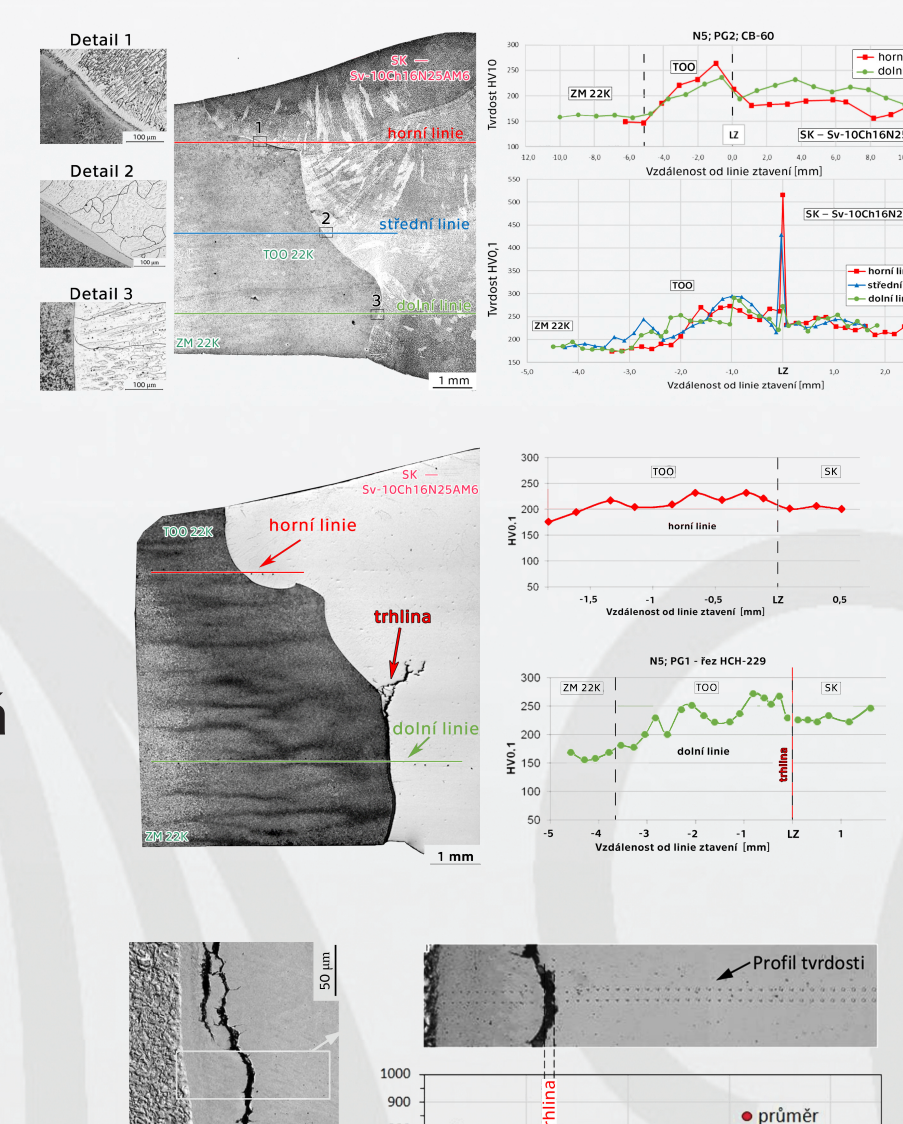
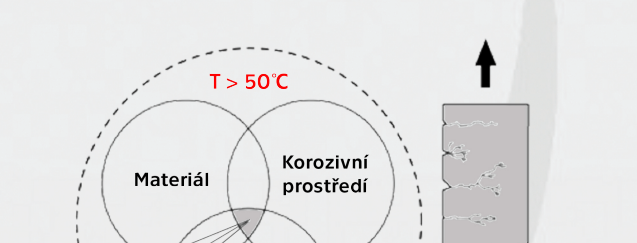
Diskuze výsledků

- Soulad simulací CALPHAD s výsledky experimentální části
- Vznik a rozšiřování CDZ (oduhlíčení) a CEZ (nauhlíčení) vlivem redistribuce uhlíku bylo prokázáno měřením HV0,1 - vhodnost metody
- Pohled creepové pevnosti heterogenního svarového spoje 15Ch-(P23)-P91 o 28% již ve VS po PWHT
- Stanovení nové konstanty C pro umělé stárnutí z výsledků creepových zkoušek



Diskuze výsledků

- Nejpřesnější NDT metoda byla CT tomografie
- Identifikace řady vad geometrického a tvarového charakteru v kořenové oblasti svaru, které zvyšují koncentraci napětí
- Šíření trhliny mechanismem korozního praskání pod napětím (SCC) ve svarovém kovu (SK) blízkosti linie ztavení (LZ), kde byla prokázána časová závislost s etapovitým průběhem (některé části nestabilním lomením)



- Komplexní návrh heterogenního svarového spoje, který eliminuje mechanismus vzniku SCC
- materiálový faktor použitý svarového kovu Sv-07Ch25N13 na vnitřní mechanizmus vzniku SCC
- napěťový faktor zesílení nosného průřezu (větší tloušťka stěny),
- faktor prostředí dílenské zhotovení a obrobění vnitřního povrchu (snížení vrubového účinku geometrie kořenové oblasti).

Dosažené cíle práce

- Navržení podkladu pro normativní přístup k provádění a hodnocení heterogenních svarových spojů pomocí mikrotvrdosti.

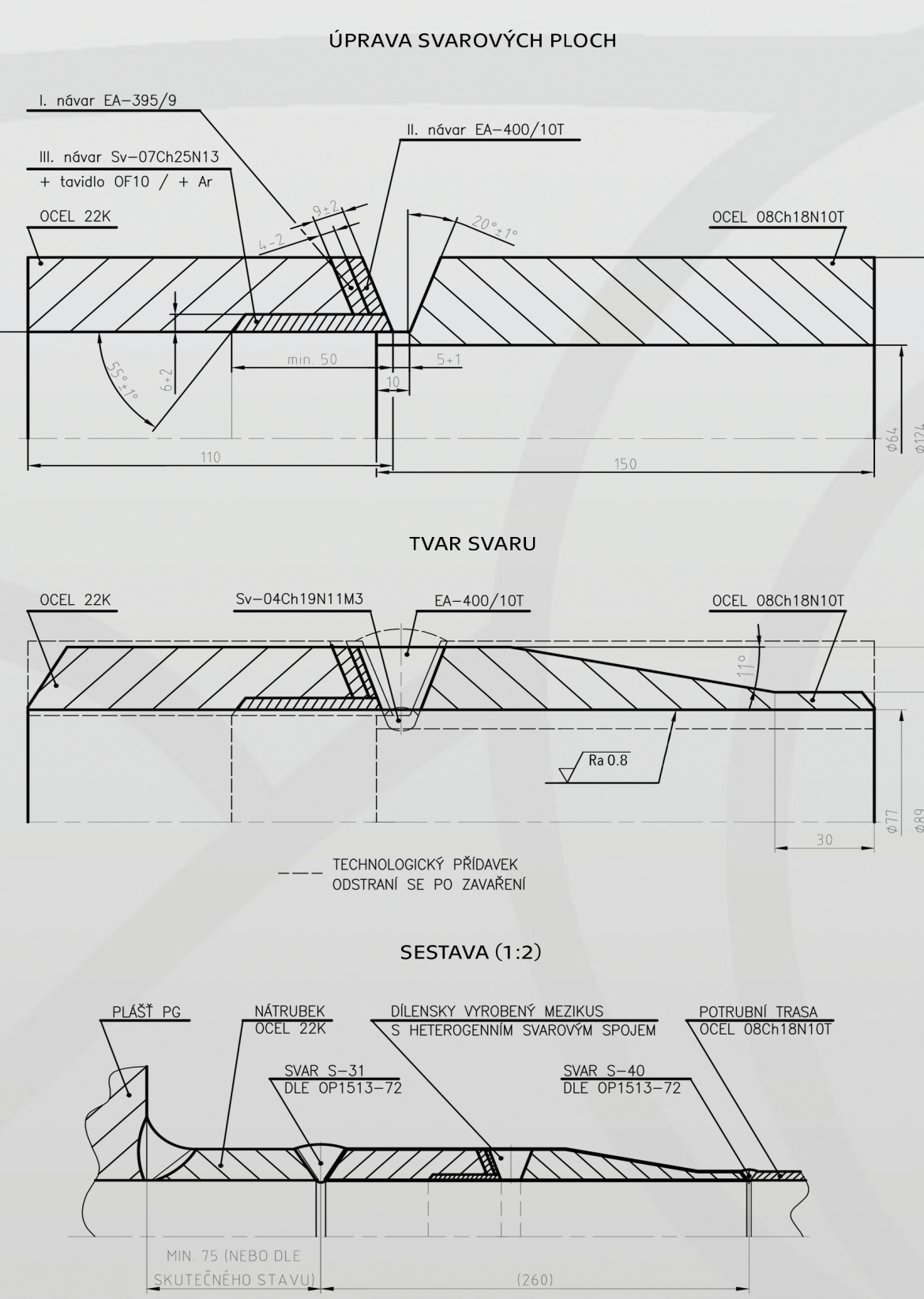
Byl vytvořen návrh Přílohy B k normě ČSN EN ISO 9015-2 pro provádění a hodnocení zkoušek mikrotvrdosti (HV0,1) na heterogenních svarových spojích. Návrh byl zpracován na základě předchozích výsledků výzkumných a vývojových prací.

- Stanovení vhodnosti přidavných materiálů a konstrukčních řešení s ohledem na degrační procesy: creep, SCC aj.

U heterogenních svarových spojů ocelí bez referenčního použití je vhodné využít fázové modely stanovené metodou CALPHAD pro volby přidavných materiálů při návrhu nových konstrukčně-technologických provedení. Cílem těchto numerických simulací je zajištění vyhnout se nestabilním strukturálním fázím ve spoji.

- Zvýšení životnosti heterogenního svarového spoje stanovením návrhu jeho konstrukčně-technologického provedení.

Na základě výsledků rozboru příčin porušení spoje Varianty 2 (22K – 08Ch18N10T) bylo navrženo materiálové a konstrukčně-technologické řešení, které má zvýšit odolnost proti SCC.



Praktická aplikovatelnost výsledků

Aplikace

- Metodické a kritériální hodnocení heterogenních svarových spojů ve fázi návrhu (WPS), kvalifikace (WPQR) a případně provozu.
- Použití návrhu heterogenního svarového spoje nádrubky N6 parogenerátoru VVER 1000 bez zásahu do tlakové nádoby s možností oběmových NDT kontrol.

Návrh pro další studium

- Posoudit vliv různého chemického složení dvoufázového přidavného materiálu Sv-07Ch25N13 (equivalent AWS A 5.4: E 309-15) na vznik trhlin
- Pro spojení ocelí skupiny 1 a 8 dle ISO TR 15608 navrhnout vhodný přidavný materiál, který svým chemickým složením hlavních legujících prvků je v intervalu spojovaných ocelí

Návrh přílohy B k normě ČSN EN ISO 9015-2

Příloha B (informativní)

B.1. Postup zkoušky pro heterogenní svarové spoje ocelí

B.1.1. Rada vrtáků (R)

Obrázky B1 a B2 ukazují typické příklady pro umístění vrtáků provedených v řadách, včetně jejich vzdálenosti od povrchu, tak aby řady nebo jejich částí umožnily vyhodnocení heterogenního svarového spoje. Pokud je předepsáno, musí technická specifikace na požadavek konstruktéra, technologa, nebo jinou osobou zodpovědnou za návrh heterogenního svarového spoje, nebo být doplněny dalšími řadami vrtáků nebo trose oblastí. Pro celkový přehled o gradientech tvrdosti v jednotlivých oblastech heterogenního svarového spoje se doporučuje využít měry tvrdosti, tzv. provedení měření tvrdosti v osu o přesné definované vzdálenosti mezi vrtáky. Skutečné provedení se vzdálenostmi jednotlivých vrtáků musí být uvedeno ve služební zprávě.

Fázové rozdělení ZM1 / ZM2	Skupiny ocelí dle TN ČSN ISO/TR 15608	Stanovená vzdálenost mezi vrtáky, L ₁ [mm]
fert / fert	Z1, Z2	0,15
fert / austenit	Z1, Z2	0,15
	Z1, Z2	0,10

* Vzdálenost mezi středem bodem nesmí být menší než minimální hodnota povolená v ISO 6507-1

B.2. Výsledky zkoušky

Hodnoty tvrdosti se musí zaznamenat s ohledem na polohu vrtáku.

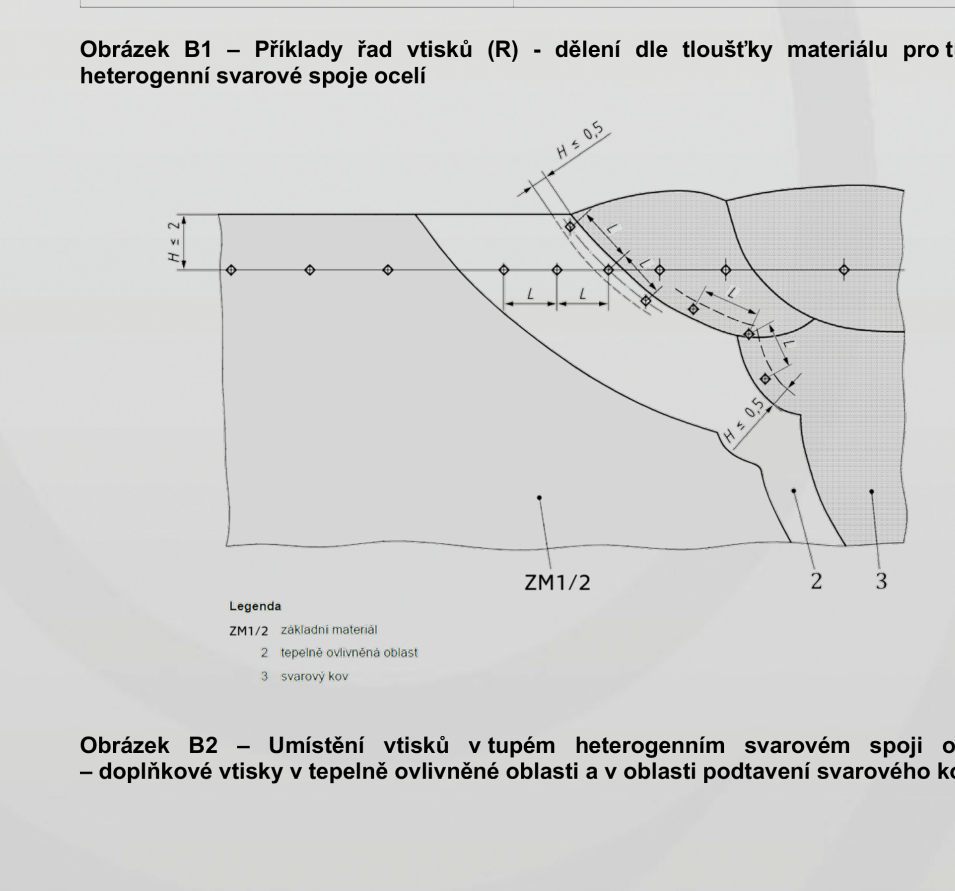
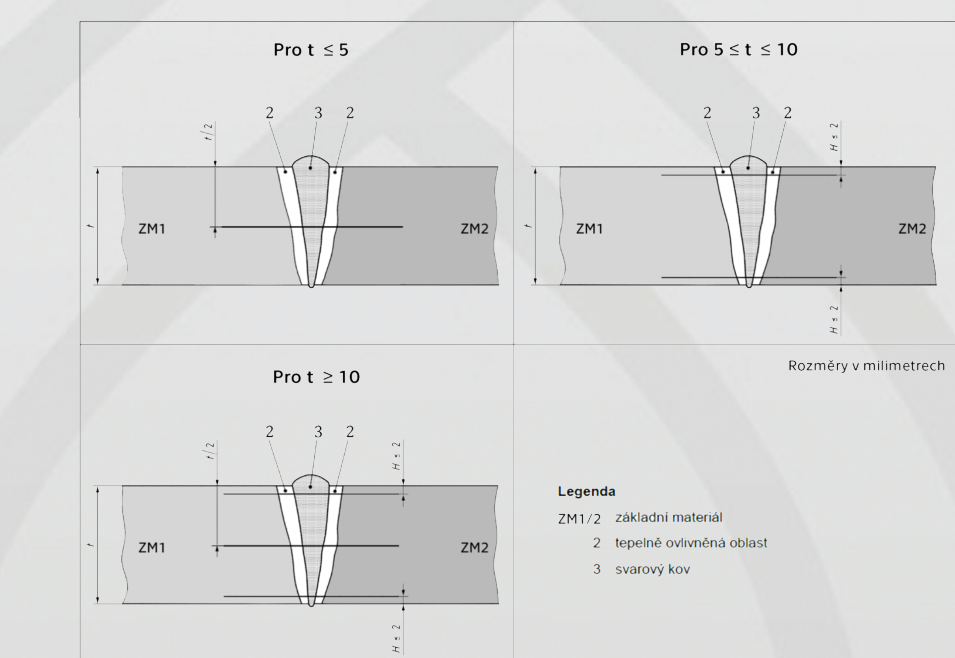
B.3. Hodnocení zkoušky

Pokud je rozdíl sousedních hodnot mikrotvrdosti ≤ 100HV0,1 je mikrotvrdost hodnocena jako přírůstek.

V případě, že je mikrotvrdost > 100HV0,1, musí být provedeno posouzení konstruktérem, technologem nebo jinou osobou zodpovědnou za návrh heterogenního svarového spoje, na základě, kterého je stanoveno, zda je mikrotvrdost přípustná nebo nepřijatelná.

Pozn. Pro úlohy map mikrotvrdosti je za sousední hodnotu považován i vrták umístěný úhlopříčně.

Návrh přílohy B k normě ČSN EN ISO 9015-2



Tematické publikace autora

Publikace v databázích WoS a SCOPUS:

- DUCHÁČEK, P. a JANOVEC, J. Heterogeneous Welded Joints (T23-T92; 15Ch1M1F-P91). Key Engineering Materials. 2015, 647, 147-152. ISSN 1662-9795. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.647.147
- JUNEK, M., SVOBODOVÁ, M., JANOVEC, J., HORVÁTH, J., a DUCHÁČEK, P. Long-term thermal degradation of narrow gap orbital welded P91 and P92 steels. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 185, 2020, ISSN 03080161. doi:10.1016/j.ijpvp.2020.104133

Indexované a ostatní publikace:

- BALIZA, M., DUCHÁČEK, P., EFSING, P., FAZEKAS, F., FREDERICK, G. et al. Dissimilar Metal Weld Inspection, Monitoring and Repair Approaches. Austria: IAEA, 2018. TECDOC Series, no. 1852. isbn 978-92-0-105618-4. Dostupné také z: <https://www.iaea.org/publications/13387/dissimilar-metal-weld-inspection-monitoring-and-repair-approaches>
- DUCHÁČEK, P., JANOVEC, J., POLÁCHOVÁ, D., HÁJKOVÁ, P. Heterogenní svarové spoje (T23-T92; 15Ch1M1F-P91). Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách. 8. konference, Srní: Západočeská univerzita v Plzni, 2013, s. 59-64. ISBN 978-80-261-0272-4
- DUCHÁČEK, P., JANOVEC, J., POLÁCHOVÁ, D., JUNEK, M. Mechanické (a creepové) vlastnosti heterogenních svarových spojů (T23-T92; 15Ch1M1F-P91). Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách. 9. konference, Srní: Západočeská univerzita v Plzni, 2014, s. 70-80. ISBN 978-80-261-0406-3
- DUCHÁČEK, P., PALÁN, M., ČANČURA, Z. Heterogenní svarové spoje parních generátorů JE typu VVER 1000 MW zhotovené přidavným svařovacím materiálem typu Sv-10Ch16N25AM6. Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách. 12. konference, Srní: Západočeská univerzita v Plzni, 2017, s. 63-66. ISBN 978-80-261-0741-5
- DUCHÁČEK, P., PALÁN, M., ČANČURA, Z. Degradaci poškození heterogenních svarových spojů feriticko-perlitických ocelí 12022.1/22K s austenitickou korozivzdornou ocelí 08Ch18N10T a přidavným materiálem Sv-10Ch16N25AM6. Zborník prednášok z konferencie Národné dni zvärania 2018. Výzkumný ústav zvarčácký - Priemyselný inštitút SR, 2018