

STATISTICKÉ PARAMETRY OCELÍ POUŽÍVANÝCH NA STAVBU OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

Lubomír ROZLÍVKA, Ing., CSc., IOK s.r.o., Frýdek-Místek, tel./fax: 555 557 529,
mail: rozlivka@iok.cz

Miroslav FAJKUS, Ing., IOK s.r.o., Frýdek-Místek, tel: 777 195 044,
mail: m.fajkus@centrum.cz

Abstrakt

The paper contains results of statistical evaluation of structural steels of strength classes S235, S355 and S420 that were used for concrete building. These are real histograms based on yield values f_y and the following basic statistical parameters calculated from them: mean values $f_{y,mean}$, characteristic values $f_{y,k}$ (for $p = 5\%$), design values $f_{y,d1}$ (for $p = 0.1\%$) and design values $f_{y,d2}$ (for $p = 0.03\%$, e.g. for bridges), as well as realistically achievable values of material reliability coefficients γ_M . Plastic properties of evaluated steels are expressed by histograms of tensile values A5, their toughness by histograms of notch toughness KCV at negative temperatures and suitability for welding based on the values of carbon equivalent CEV.

1. ÚVOD

Při navrhování ocelových konstrukcí projektant běžně postupuje podle platných technických norem (např. [1] až [5]) a návrhovou pevnost $f_{y,d}$ konstrukčních ocelí podle nich určuje:

- podle jmenovitých (nominálních) hodnot meze kluzu $f_{y,nom}$, stanovených pro jednotlivé pevnostní třídy ocelí v normách navrhování konstrukcí nebo v normách hutních materiálů,
- s použitím dílčích součinitelů spolehlivosti materiálu γ_M , které jsou v nových evropských normách navrhování navrženy stejnou hodnotou pro všechny pevnostní třídy ocelí, např. pro konstrukce pozemních staveb hodnotou $\gamma_M = 1,00$.

Tento postup sice je jednoduchý, nevystihuje však dostatečně přesně a věrohodně skutečné rozdělení pevnostních hodnot u konkrétních materiálů podle pevnostní třídy oceli, tloušťky, sortimentu nebo použité technologie zpracování určité skupiny hutních výrobků. V důsledku toho mohou být výsledky tradičního výpočtu návrhových pevnostních hodnot zbytečně konzervativní, nebo případně poněkud optimistické ve vztahu k deklarovaným požadavkům na spolehlivost ocelové konstrukce, kterou je možné vyjádřit přijatelně malou pravděpodobností podmínky, že účinky zatížení S jsou menší než únosnost konstrukce R .

Toto tvrzení se pokusíme dokumentovat na histogramech hodnot meze kluzu konkrétních jakostí konstrukčních ocelí (v sortimentu tlustých plechů) pevnostních tříd S235, S355 a S420, použitých pro realizaci velké konstrukce v roce 2004. Ukazují skutečné rozložení hodnot meze kluzu f_y a z nich vypočtené základní statistické parametry jednotlivých souborů: průměrnou hodnotu $f_{y,mean}$, charakteristickou hodnotu $f_{y,k}$ (pro pravděpodobnost výskytu $p = 5\%$), návrhovou hodnotu $f_{y,d1}$ (pro pravděpodobnost $p = 0,1\%$, pro konstrukce pozemních staveb) a návrhovou hodnotu $f_{y,d2}$ (pro pravděpodobnost $p = 0,03\%$, např. pro mosty), resp. z nich vypočtené reálně dosažitelné hodnoty součinitelů spolehlivosti materiálu γ_M .

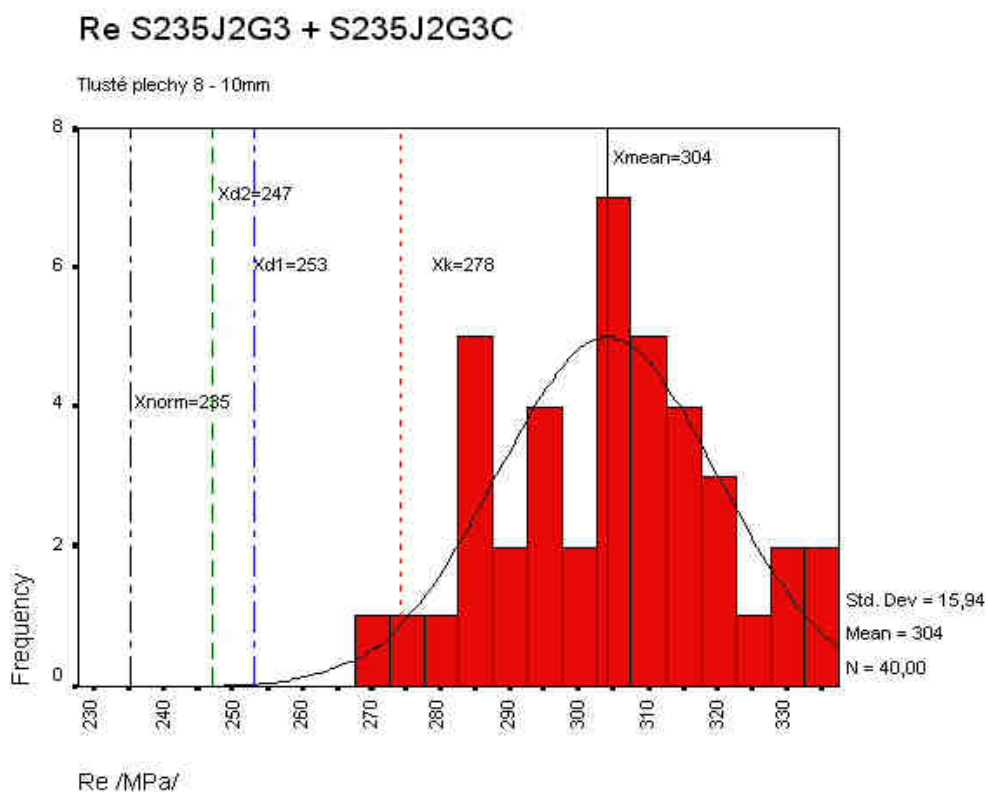
Plastické vlastnosti konstrukčních ocelí, vyjádřené hodnotou tažnosti A5, a jejich houževnatost, hodnocená zkouškou nárazové práce (vrubové houževnatosti) KV při záporných teplotách, vykazují většinou velmi vysoké rezervy proti požadavkům technických

norem, což je možné ukázat na histogramech těchto veličin u všech hodnocených pevnostních tříd konstrukčních ocelí.

Základním parametrem pro hodnocení vhodnosti oceli ke svařování jsou hodnoty uhlíkového ekvivalentu CEV. Většinou vykazují rezervy proti požadavkům technických norem, zejména pro oceli základních pevnostních tříd S235 a termomechanicky válcovaných ocelí ML, což je zřejmé z histogramů hodnot CEV těchto materiálů.

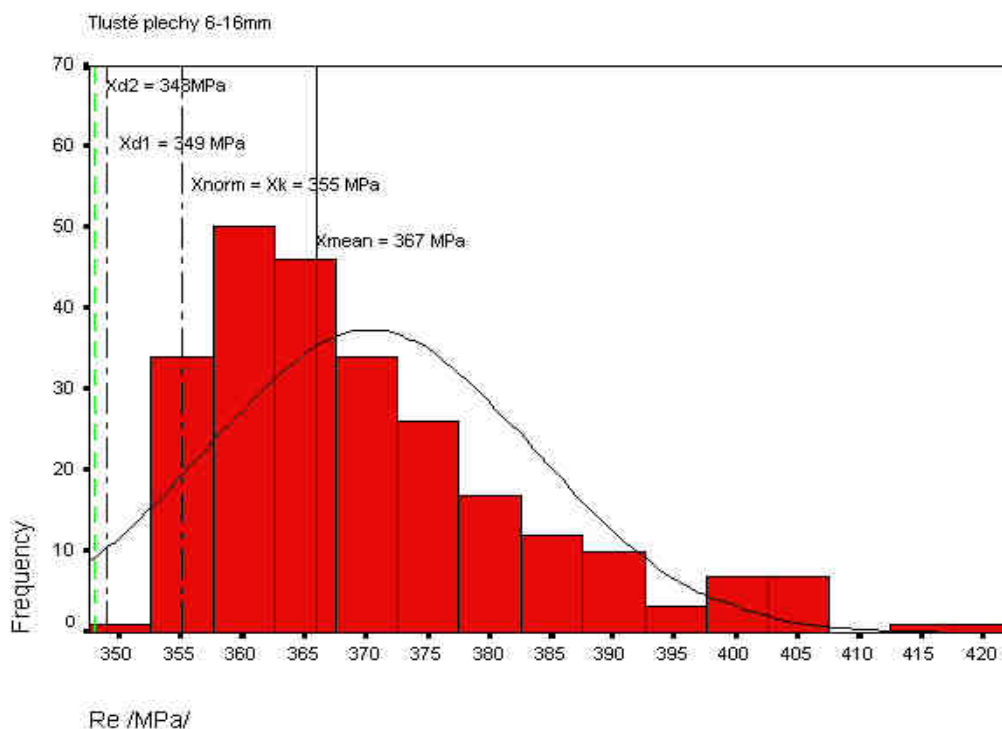
2. MEZ KLUZU A SOUČINTEL SPOLEHLIVOSTI MATERIÁLU

Skutečné rozložení registrovaných hodnot meze kluzu hodnocených tlustých plechů z ocelí S235 J2G3, S355 NL, S355 ML a S420 ML je zřejmé z histogramů na obrázcích 2.1 až 2.4. Základní statistické charakteristiky těchto souborů a jejich porovnání s požadavky technických norem je v tabulce 2.1.



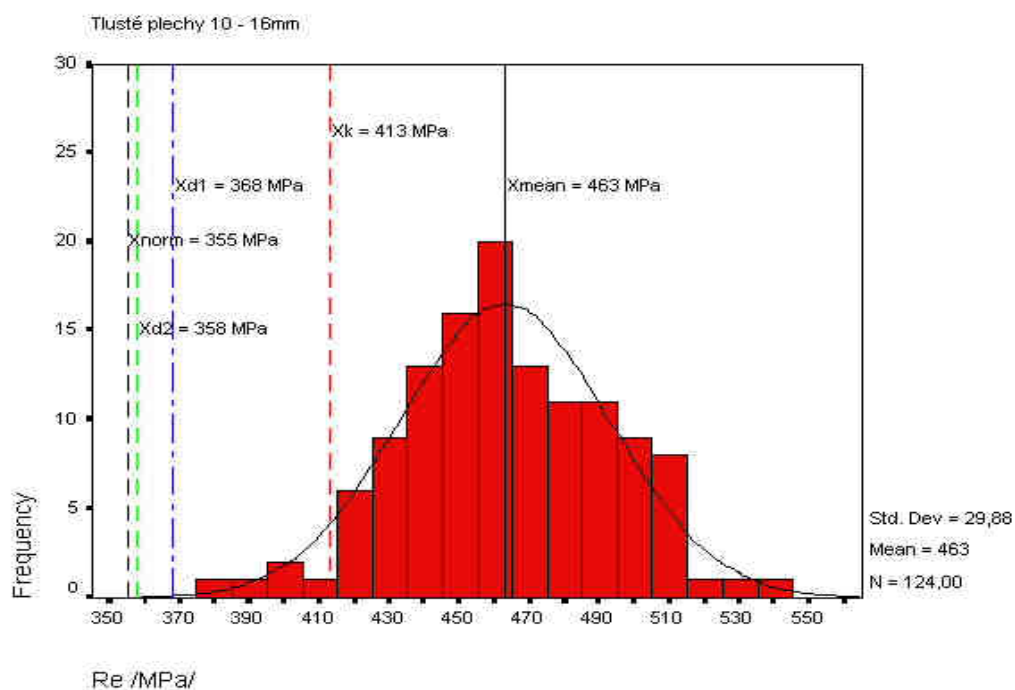
Obr. 2.1: Plechy P8 – P10 z oceli S235 J2G3 – Mez kluzu Re

Re S355NL+NLC

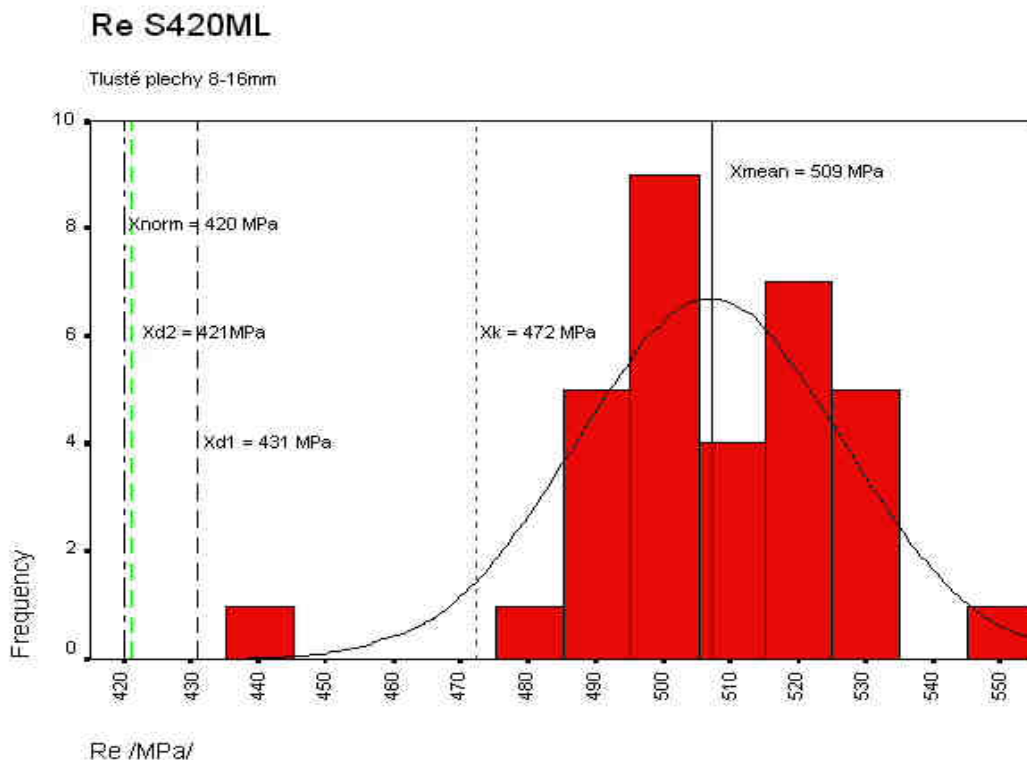


Obrázek 2.2: Plechy P6 – P16 z oceli S355 NL – Mez kluzu Re

Re S355ML



Obrázek 2.3: Plechy P10 – P16 z oceli S355 ML – Mez kluzu Re



Obrázek 2.4: Plechy P8 – P16 z oceli S420 ML – Mez kluzu Re

Tabulka 2.1: Statistické charakteristiky a reálné návrhové hodnoty tlustých plechů

Hodnota	S235 J2G3 P8 – P10	S355 NL P6 – P16	S355 ML P8 – P10	S420 ML P8 – P10
počet	40	248	124	33
min	271	351	380	438
průměr	304,20	366,51	463,00	509,72
smodch.	15,94	13,22	29,88	21,04
šikmost	-0,05	1,20	-0,04	-0,64
X_k	277,43	355,30	413,22	471,58
X_k / X_{nom} (%)	118,06	100,08	116,40	112,28
X_{d1}	252,97	349,41	368,41	431,16
γ_{M1}	0,929 << 1,00	1,016 > 1,00 !!	0,964 < 1,00	0,974 < 1,00
X_{d2}	247,07	348,28	357,63	420,53
γ_{M2}	0,951 << 1,10	1,019 < 1,10	0,993 << 1,10	1,001 << 1,10

Z předchozích histogramů a z tabulky 2.1 je zřejmý rozdílný stupeň dodržení normativních pevnostních a návrhových parametrů pro jednotlivé pevnostní třídy a výrobní varianty hodnocených konstrukčních ocelí:

- hodnocené oceli S235 J2G3 s mimořádně velkou rezervou splňují normativní požadavky na pevnostní hodnoty materiálu. I když jsou deklarovány jako oceli S235, jejich skutečné pevnostní hodnoty plně vyhovují normativním požadavkům na oceli o stupeň vyšší pevnostní třídy S275. Tato pevnostní rezerva (cca 7 až 15%) není při tradičním postupu navrhování podle platných norem využitelná,

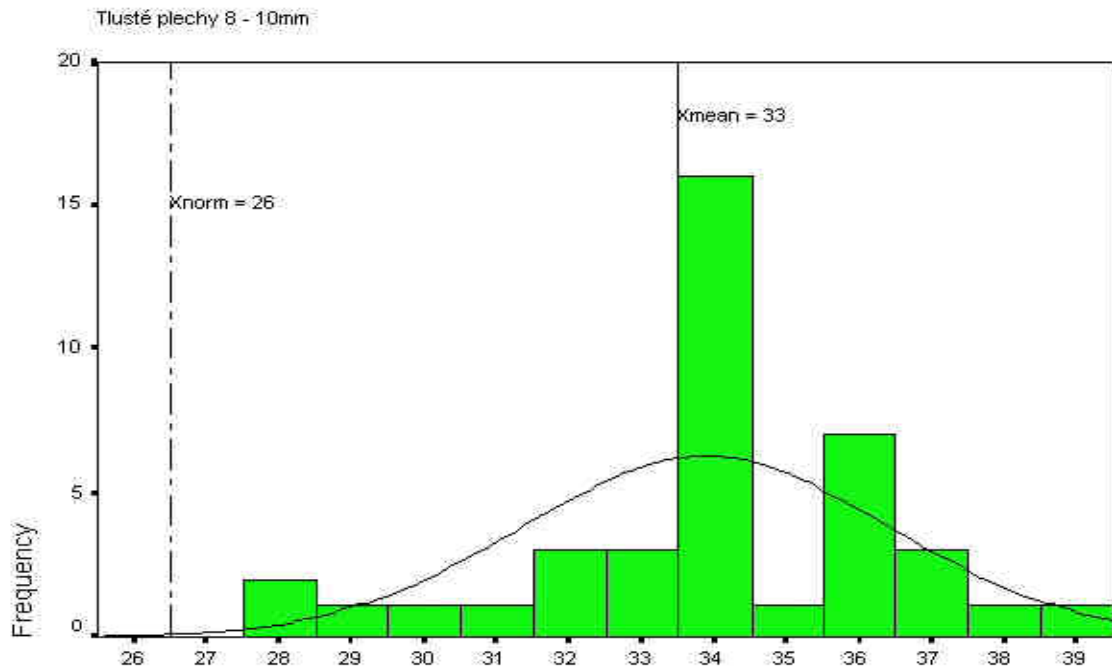
- pevnostní hodnoty normalizačně žíhaných ocelí S355 NL jsou většinou dodrženy, rezervy vůči předpisu normy však jsou minimální nebo žádné. Soubor registrovaných dat meze kluzu ocelí S355 NL je výrazně nesymetrický. Dodržení návrhových parametrů ocelí S355 NL podle EN 1993-1-1 je v tomto případě podmíněno spolehlivostí a věrohodností systému kontroly materiálu v hutních. Součinitel spolehlivosti materiálu γ_M (pro pozemní konstrukce) je asi o 2% podkročen,
- pevnostní hodnoty termomechanicky válcovaných ocelí S355 ML jsou se značnou rezervou splněny. Soubor registrovaných dat meze kluzu je symetrický s minimální šikmostí. Materiál se svými vlastnostmi blíží hodnotám, požadovaným pro oceli o stupeň vyšší pevnostní třídy S420. Pevnostní rezerva cca 4 až 11% není při tradičním postupu navrhování podle platných norem využitelná,
- pevnostní hodnoty termomechanicky válcovaných ocelí S420 ML jsou rovněž se značnou rezervou splněny. Šikmost souboru registrovaných dat meze kluzu je dobře přijatelná. Materiál přibližně splňuje požadavky na oceli o stupeň vyšší pevnostní třídy S460. Pevnostní rezerva cca 3 až 9% není při tradičním postupu navrhování podle platných norem využitelná,
- z uvedených konkrétních příkladů je zřejmé, že metodika výpočtu únosnosti ocelových nosných prvků v platných ČSN EN pro navrhování ocelových konstrukcí na základě jmenovitých hodnot meze kluzu $f_{y,nom}$ jednotlivých pevnostních tříd ocelí a normativní hodnoty součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_M = 1,00$ je značně konzervativní a nepřesná: pro oceli S235 a pro termomechanicky válcované oceli S355 ML a S420 ML vzniká zbytečně velká nevyužitelná pevnostní rezerva, což bylo pro oceli S235 již dříve vícekrát prokázáno.

3. TAŽNOST A5 A NÁRAZOVÁ PRÁCE KV MATERIÁLU

Z následujících obrázků 3.1 až 3.6 je zřejmé skutečné rozložení registrovaných hodnot tažnosti A5 a nárazové práce KV při zkušebních teplotách $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ tlustých plechů z ocelí S235 J2G3, S355 ML a S420 ML.

Konkrétní histogramy těchto veličin u všech hodnocených pevnostních tříd konstrukčních ocelí prokazují, že plastické vlastnosti konstrukčních ocelí (vyjádřené hodnotou tažnosti A5) vykazují vysoké rezervy proti požadavkům technických norem. Rovněž jejich houževnatost, hodnocená zkouškou nárazové práce KV při záporných teplotách je vynikající, protože požadavky technických norem jsou mnohonásobně (cca 10 až 15x) překročeny.

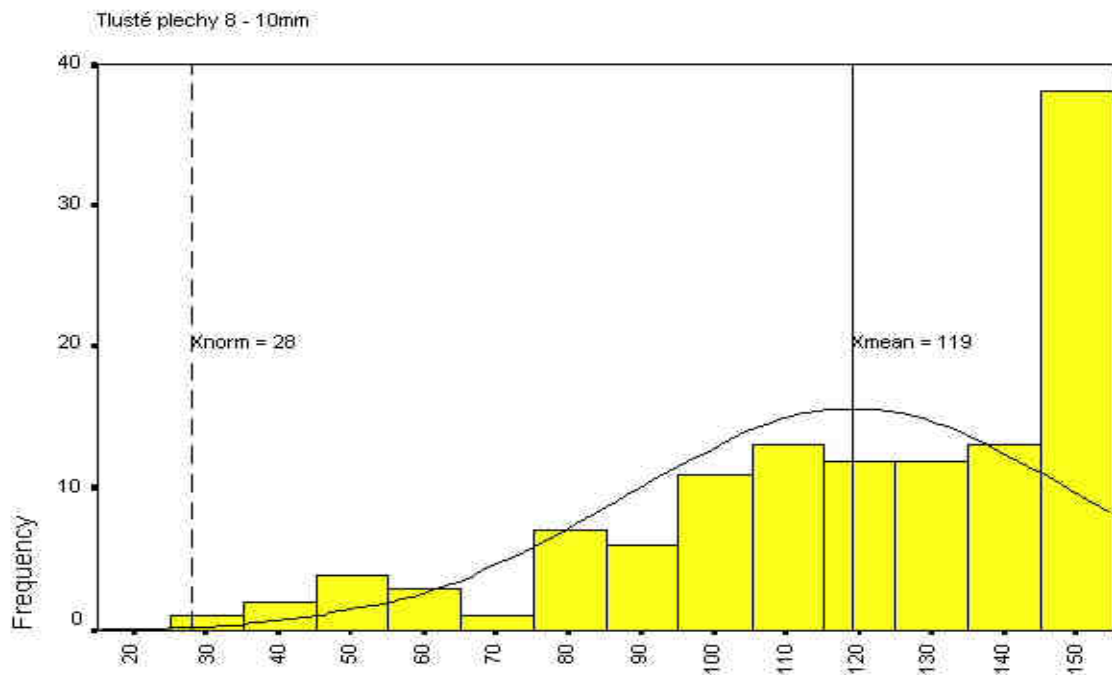
A5 S235J2G3+J2G3C



A5 [%]

Obrázek 3.1: Plechy P8 – P10 z oceli S235 J2G3 – Tažnost A5

KV S235J22G3+J2G3C

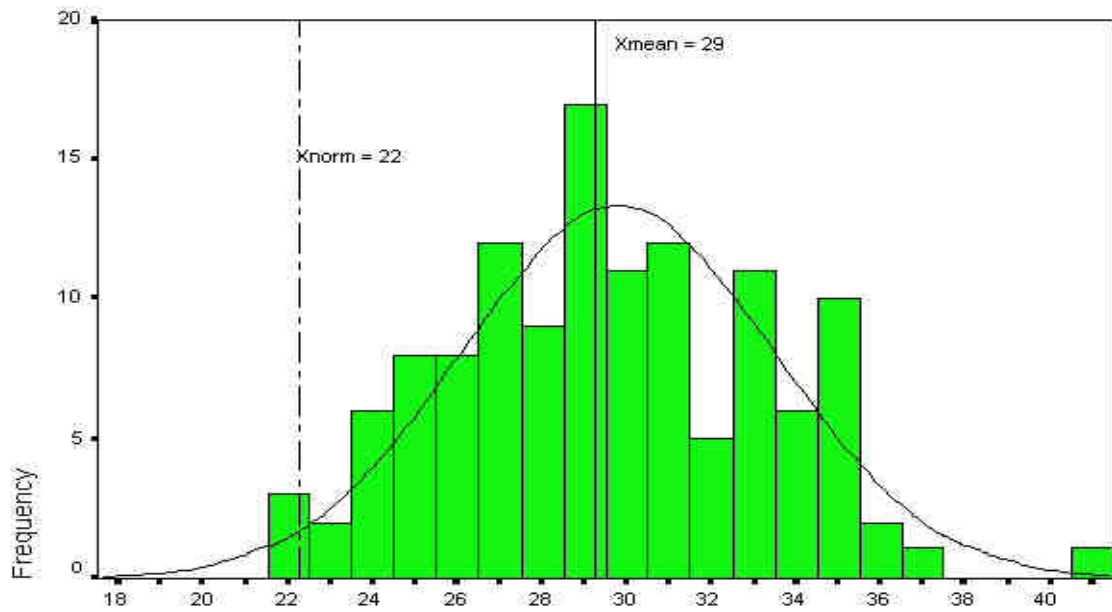


KV -20°C [J]

Obrázek 3.2: Plechy P8 – P10 z oceli S235 J2G3 – Nárazová práce KV při teplotě -20 °C

A5 S355ML

Tlusté plechy 10 - 16mm

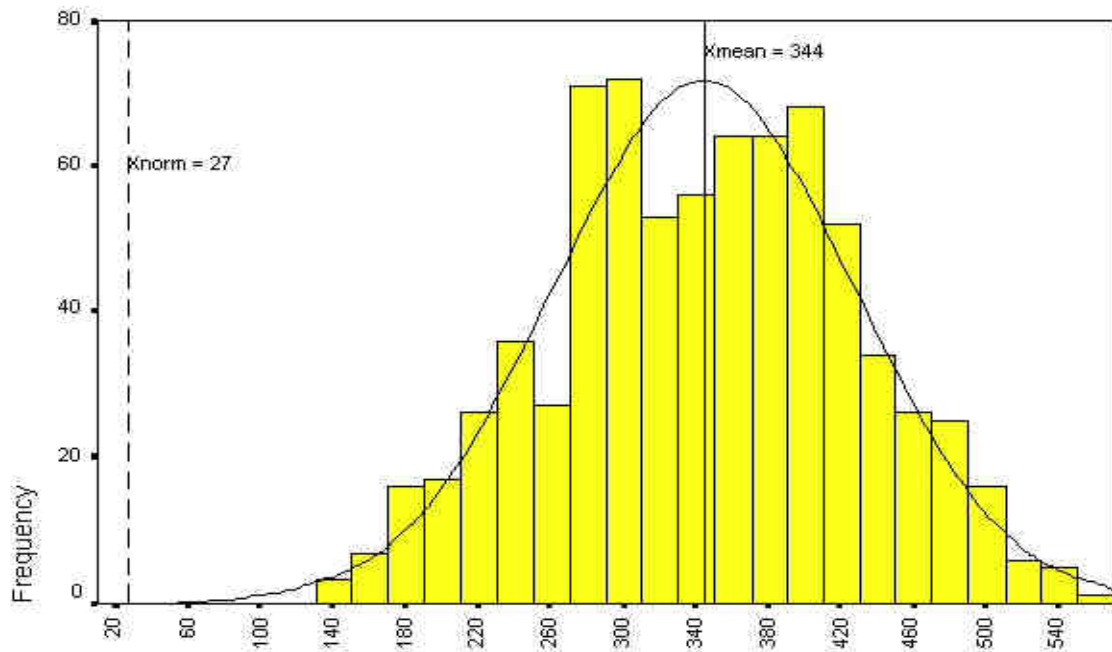


A5 [%]

Obrázek 3.3: Plechy P10 – P16 z oceli S355 ML – Tažnost A5

KVL -50°C S355ML

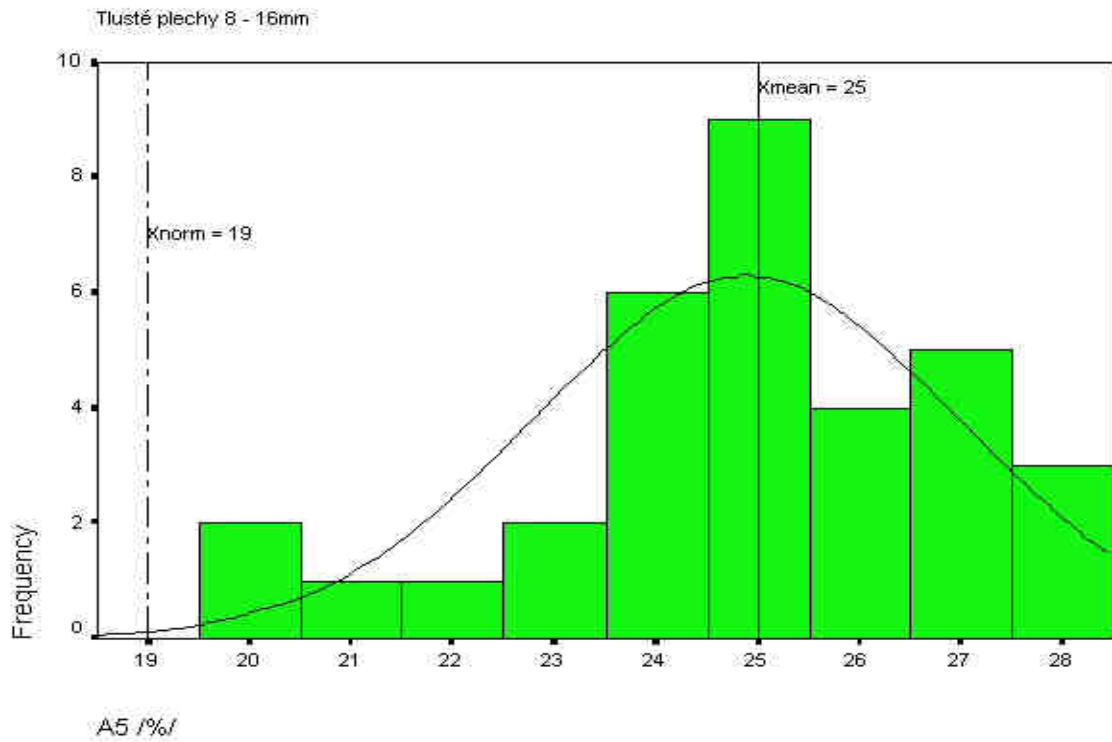
Tlusté plechy 10 - 40 mm



KVL [J]

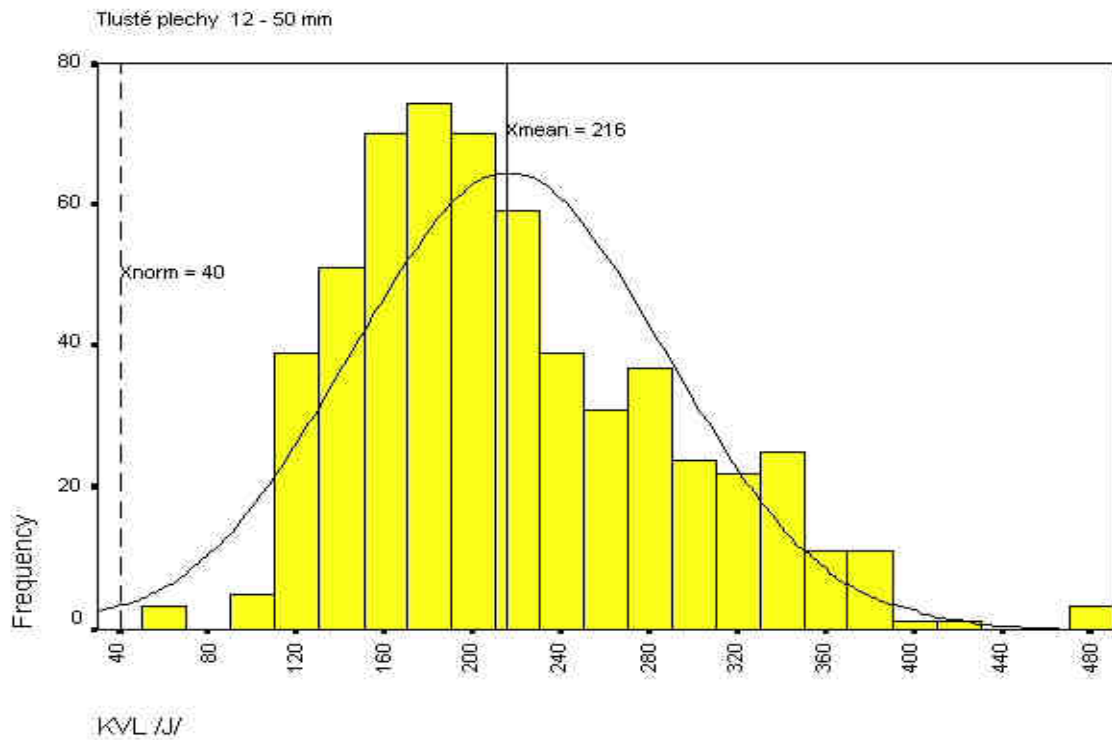
Obrázek 3.4: Plechy P10 – P40 z oceli S355 ML – Nárazová práce KV při teplotě -50 °C

A5 S420ML



Obrázek 3.5: Plechy P8 – P16 z oceli S420 ML – Tažnost A5

KVL -30°C S420ML

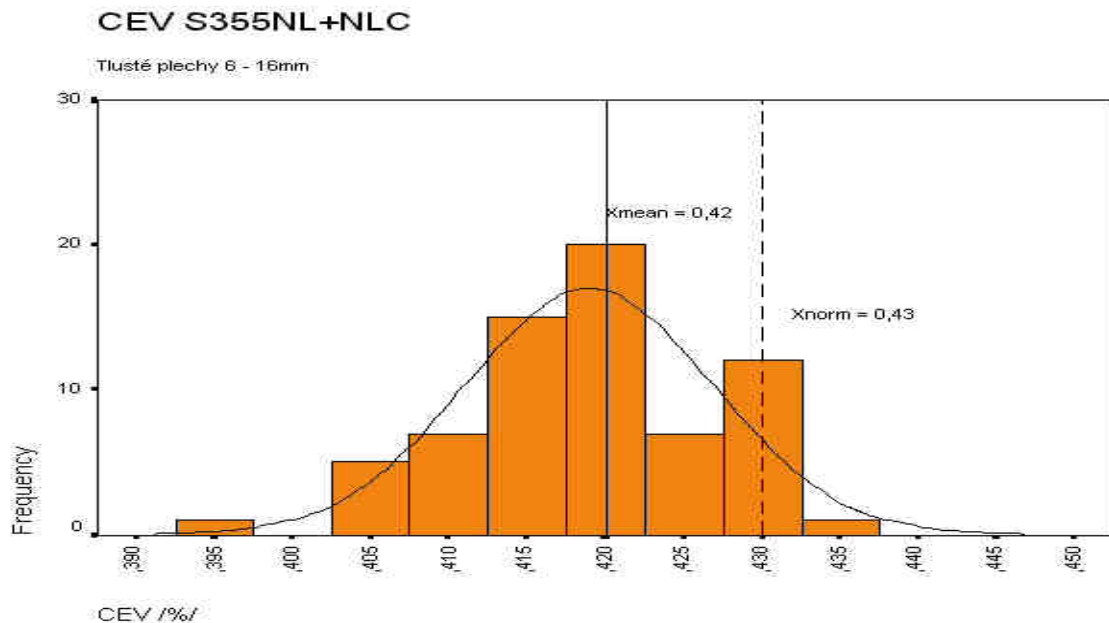


Obrázek 3.6: Plechy P12 – P50 z oceli S420 ML – Nárazová práce KV při teplotě -30 °C

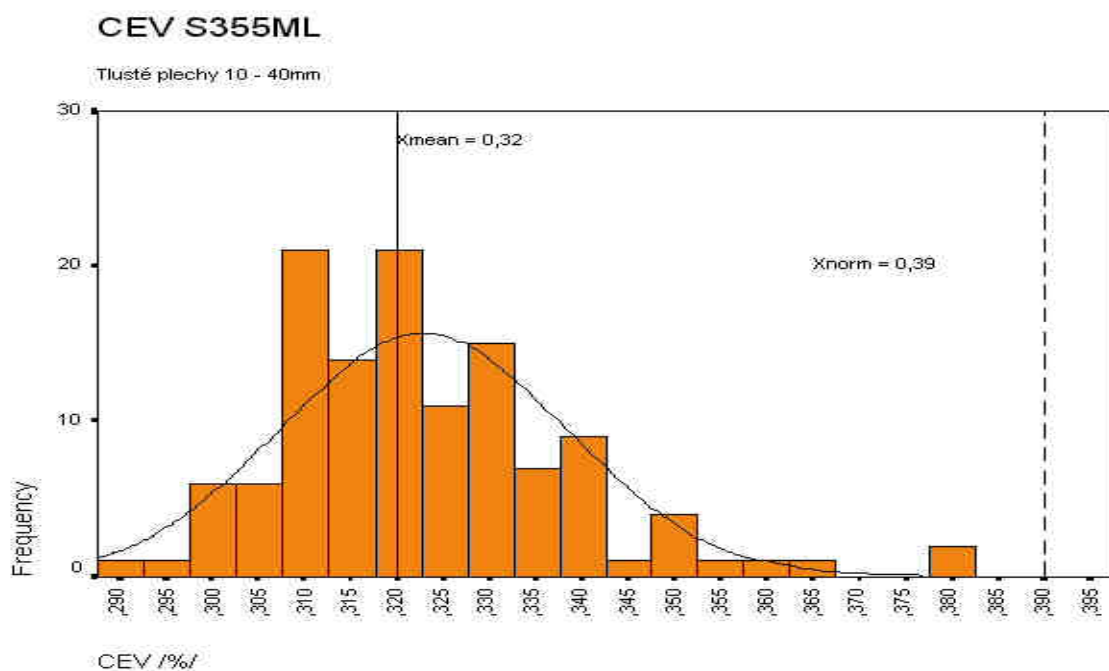
4. UHLÍKOVÝ EKVIVALENT CEV PRO HODNOCENÍ SVAŘITELNOSTI

Histogramy na následujících obrázcích 4.1 a 4.2 ukazují podstatný rozdíl mezi normalizačně žíhanou ocelí S355 NL a termomechanicky válcovanou ocelí S355 ML, z hlediska vhodnosti ke svařování je ocel S355 ML výhodnější.

Hodnoty CEV ocelí základní pevnostní třídy S235 jsou všeobecně příznivé: $CEV_{mean} =$ cca 0,25, $CEV_{max} =$ cca 0,29 < $CEV_{norm} =$ 0,35. Hodnoty CEV termomechanicky válcovaných ocelí S420 ML jsou rovněž poměrně dobré: $CEV_{mean} =$ cca 0,36, $CEV_{max} =$ cca 0,39 < $CEV_{norm} =$ 0,45.



Obrázek 4.1: Plechy P6 – P16 z oceli S355 NL – Uhlíkový ekvivalent CEV



Obrázek 4.2: Plechy P10 – P40 z oceli S355 ML – Uhlíkový ekvivalent CEV

5. ZÁVĚR

Jednotlivé varianty hodnocených ocelí je možné souhrnně z hlediska všech sledovaných vlastností charakterizovat následovně:

- ocel S235 J2G3 z hlediska všech sledovaných vlastností vyhovuje s velmi velkou rezervou,
- normalizačně žíhaná ocel S355 NL z hlediska všech sledovaných vlastností vyhovuje, rezervy vůči předpisu normy však jsou jen minimální nebo žádné. Záruky požadovaných vlastností zřejmě jsou důsledkem soustavné a spolehlivé kontroly materiálu u hutního výrobce,
- termomechanicky válcovaná ocel S355 ML z hlediska všech sledovaných vlastností velmi dobře a s velkou rezervou vyhovuje předpisu normy. Spolehlivost návrhových hodnot, chemické složení a houževnatost těchto ocelí je příznivější než u normalizačně žíhaných ocelí S355 NL,
- termomechanicky válcovaná ocel S420 ML z hlediska všech sledovaných vlastností dobře vyhovuje předpisu normy, zejména u plechů tloušťkové skupiny do P16.

Souvisící technické normy:

- 1) ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí
- 2) ČSN 73 6205 Navrhování ocelových mostů
- 3) EN 1993-1-1: 2006 Design of steel structures – General rules and rules for buildings
- 4) EN 1993-2: 2007 Design of steel structures – Steel bridges
- 5) EN 10025: 2005 Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions