

REÁLNÉ A NÁVRHOVÉ HISTOGRAMY VLASTNOSTÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

Lubomír Rozlívka ¹, Miroslav Fajkus ²

ABSTRACT

The paper contains statistic characteristics of real histograms of structural steels of the strength class S355 and their application for creation of simple design histograms. It presents moreover histograms of relative sectional area of IPE sections and data for creation of a histogram of thickness of sheets that were rolled in minus tolerances.

1 Úvod

Základním podkladem (kromě hodnot zatížení) pro návrh a zajištění spolehlivosti nosné ocelové konstrukce i pro její racionální výrobu je dobrá znalost reálných pevnostních a technologických parametrů konstrukčních ocelí, včetně jejich možného rozptylu. Skutečně dosahované hodnoty a jejich možný rozptyl lze dobře vyjádřit v reálných histogramech jednotlivých vlastností, které je možné vytvářet podle věrohodných dostupných podkladů od výrobců a dodavatelů těchto ocelí.

Reálné histogramy je možné v prvním přiblížení využít pro ověření návrhových hodnot součinitelů spolehlivosti únosnosti (součinitelů materiálu), které jsou konzervativně a často značně nepřesně určeny v platných českých technických normách navrhování ocelových konstrukcí i v nových evropských normách – např. v [1]. Reálný histogram však také je podkladem pro poměrně jednoduché vytvoření návrhového histogramu, jak je ukázáno dále v tomto příspěvku. Návrhové histogramy potom lze využít pro přesnější pravděpodobnostní návrh ocelové konstrukce, založený na osvědčené simulační metodě SBRA.

2 Reálné histogramy vlastností konstrukčních ocelí

Pomocí reálných histogramů se zpravidla sledují hodnoty a rozptyl následujících základních vlastností konstrukčních ocelí:

- pevnostní hodnoty, zejména mez kluzu materiálu,
- plastické vlastnosti konstrukčních ocelí, vyjádřené hodnotou tažnosti A5,
- houževnatost oceli, hodnocená zkouškou nárazové práce KV při záporných teplotách,
- vhodnost oceli ke svařování, vyjádřená hodnotou uhlíkového ekvivalentu CEV,

¹ Lubomír Rozlívka, Ing., CSc., Institut ocelových konstrukcí, s.r.o., Beskydská 235, Frýdek-Místek, tel.: 603 423 462, e-mail.: Rozlivka@IOK.cz

² Miroslav Fajkus, Ing., Institut ocelových konstrukcí, s.r.o., Beskydská 235, Frýdek-Místek, tel.: 777 195 047, e-mail.: m.fajkus@centrum.cz

2.1 Mez kluzu a pevnost v tahu plechů pevnostní třídy S355 J2

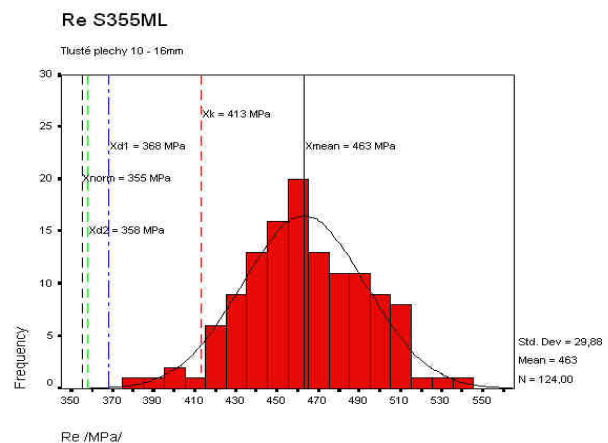
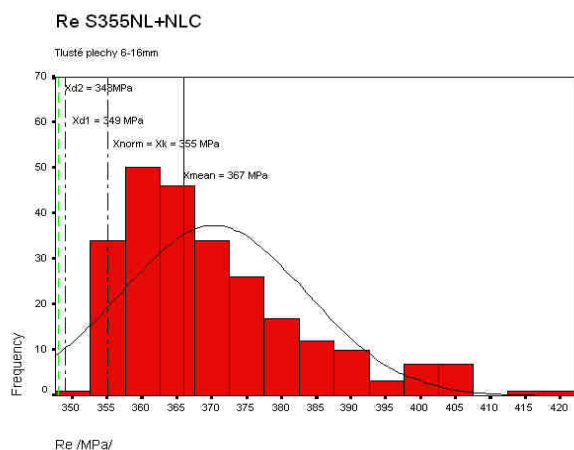
V následující tabulce jsou uvedeny výsledky statistické analýzy pevnostních hodnot tlustých plechů S355 J2 (v závislosti na tloušťce plechu), vyrobených v období let 2006 a 2007:

Tabulka 2.1: Statistické parametry souborů meze kluzu a pevnosti v tahu tlustých plechů S355 J2

Hodnota		Mez kluzu Re			Pevnost v tahu Rm		
Tloušťka mm		Do 16	17 – 40	41 – 63	do 16	17 – 40	41 - 63
Střední hodnota	MPa	412,27	394,23	374,31	560,62	551,98	559,21
Směrodatná odchylka	MPa	27,77	25,76	27,74	26,76	18,05	14,95
Šikmost		0,96	0,07	0,07	1,26	-0,29	0,28
Minimum	MPa	291	299	280	415	430	471
Maximum	MPa	551	496	465	808	630	643
Počet		2373	1615	480	2373	1614	480

Z tabulky 2.1 je zřejmá značná závislost meze kluzu (nejdůležitější pevnostní charakteristiky oceli) na tloušťce plechu. Reálné histogramy pro jednotlivé tloušťkové skupiny těchto plechů proto jsou výrazně rozdílné, další podstatné rozdíly pak vznikají v závislosti na konkrétní hutní technologii použité při výrobě příslušného sortimentu. Příklady konkrétních reálných histogramů normalizačně žíhaných a termomechanicky válcovaných plechů S355 NL a S355 ML jiných výrobců jsou pro porovnání rozdílů ukázány na obrázcích 2.1 a 2.2. Další příklady reálných histogramů meze kluzu jiných variant konstrukčních ocelí lze získat např. z [2].

Obr.2.1: Re – Plechy do 16mm z oceli S355 NL Obr.2.2: Re – Plechy do 16mm z oceli S355 ML



2.2 Plastické vlastnosti, houževnatost a chemické složení materiálu

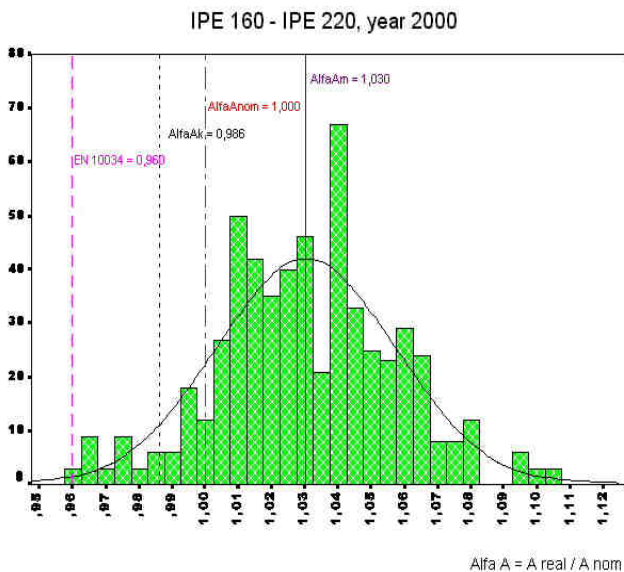
Reálné plastické vlastnosti oceli, vyjádřené tažností A5, houževnatost materiálu, ověřovaná jednoduše hodnotou nárazové práce KV a vhodnost oceli ke svařování, vyjádřená funkcí chemického složení oceli – ekvivalentem uhlíku CEV a jejich skutečný rozptyl je rovněž možné vyjádřit a dokumentovat reálnými histogramy. Jejich prezentace přesahuje možnosti tohoto příspěvku, příklady těchto histogramů však jsou např. v [2].

3 Úchytky rozměrů válcovaných hutních výrobků a svařovaných konstrukcí

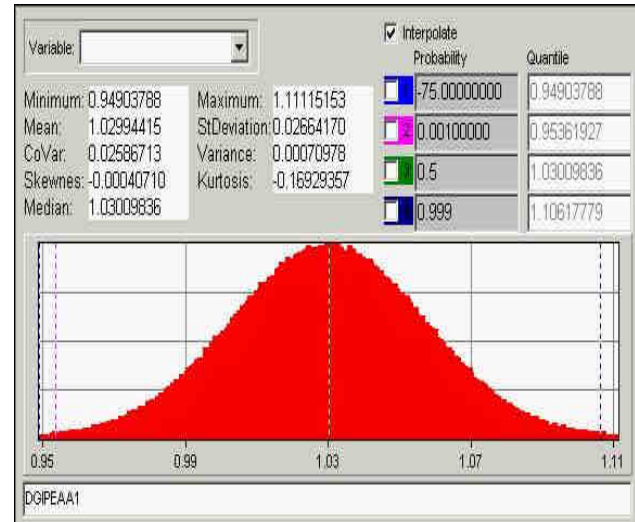
Druhým základním faktorem ovlivňujícím únosnost a spolehlivost jsou úchytky rozměrů válcovaných hutních výrobků a svařovaných konstrukcí. Pro sestavení reálných histogramů těchto úchytek nejsou v současné době k dispozici potřebné měřené údaje od výrobců materiálu nebo konstrukcí a jejich přípustnou velikost a rozsah je proto nutné určovat pouze podle podkladů určených v technických normách (dodacích podmínkách) hutních výrobků, např. v [3], a v nových evropských normách provádění ocelových konstrukcí, viz [4].

Údchylky rozměrů dlouhých výrobků byly prezentovány na konferenci Spolehlivost v roce 2003, včetně statistického vyhodnocení odchylek průřezové plochy IPE nosníků, viz [5] a obr. 3.1 a 3.2:

Obr.3.1: Relativní průřezová plocha nosníků IPE



Obr.3.2: Návrhový histogram relativní průřezové plochy nosníků IPE



V současné době se prosazuje tendence válcovat v rozsahu záporných tolerancí za předpokladu, že cena hutního výrobku se určuje z nominálních rozměrů a nominální hmotnosti výrobku. To může být pro únosnost konstrukce významné a důležité, zejména u tažených prvků a svařovaných konstrukcí z tlustých plechů.

Norma [3] rozeznává 4 třídy mezních úchylek tloušťky plechu, běžně se požaduje třída D, ve které jsou mezní úchylky tloušťky rozdělené symetricky. Pro plech tloušťky 30mm je toto rozmezí $\pm 1,1$ mm. Při dnešní technické úrovni válcování je výrobce schopen udržet tloušťku v rozmezí $\pm 0,3$ mm. Reálný histogram tloušťky plechu s normálním rozdělením bude mít rozsah 28,9 až 29,5 mm, zatímco normou povolený rozsah je 28.9 až 31,1 mm.

Platná norma [4] provádění ocelových konstrukcí rovněž určuje částečně zvětšený rozsah přípustných úchylek rozměrů ocelových konstrukcí, což je také potřebné uvážit při výpočtu mezní únosnosti konstrukce.

4 Návrhové histogramy meze kluzu plechů S355

Pokud pro určitý válcovaný materiál (typ průřezu, pevnostní třída oceli, hutní technologie, ...) je známý nebo dostupný reálný histogram skutečně dosahovaných hodnot meze kluzu, je snadno možné ze skutečných statistických parametrů příslušného reálného histogramu vytvořit jednoduchý hladký a zjednodušený, přitom však dostatečně přesný a spolehlivý návrhový histogram, např. za těchto předpokladů:

- uvažuje se normální rozdělení podle Gausse,
- střední hodnota se rovná střední hodnotě reálného histogramu,
- rozsah histogramu je určen jako 6ti násobek směrodatné odchylky.

Obvyklý tvar návrhového histogramu, odpovídající těmto podmínkám, je ukázán na obr. 3.1

Statistické parametry návrhových histogramů meze kluzu plechů pevnostní třídy S355 z tabulky 2.1 jsou (po zaokrouhlení původních reálných hodnot) uvedeny v následující tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Statistické parametry návrhových histogramů meze kluzu tlustých plechů S355 J2

Tloušťka mm	Reálný histogram			Návrhový histogram – viz tab. 2.1		
	do 16	17 – 40	41 – 63	do 16	17 – 40	41 – 63
Střední hodnota MPa	412,27	394,23	374,31	412	394	374
Směrodatná odchylka MPa	27,77	25,76	27,74	26,5	18,0	15,0
Šikmost	0,96	0,07	0,07	0,0	0,0	0,0
Minimum MPa	291	299	280	332	340	329
Maximum MPa	551	496	465	492	448	418
Návrhová hodnota f_{yd} podle ČSN EN 1993-1-1				355	355	335

Z tabulky 4.1 je zřejmé, že nižší hodnoty meze kluzu ocelí S355 J2 v tabulce 2.1 mají relativně velkou četnost, kterou je možné spolehlivě vyjádřit pouze v návrhovém histogramu.

5 Příprava databáze návrhových histogramů vlastností konstrukčních ocelí

Vybudování a průběžné doplňování a zpřesňování potřebné databáze věrohodných a běžně dostupných návrhových histogramů vlastností konstrukčních ocelí je dlouhodobý a náročný úkol. Pouze při jeho včasné zvládnutí bude možné vědecky dobře vybudovanou a ověřenou metodu SBRA konkrétně uplatnit v technické praxi při projektování důležitých ocelových konstrukcí a při výstižnějším a přesnějším hodnocení potřebné spolehlivosti nosných konstrukcí i složitých nosných soustav.

Pro spolehlivou aplikaci návrhových histogramů je nutné zabezpečit další průběžné statistické hodnocení hutních materiálů, zejména pro sortiment tlustých plechů a pro vyšší pevnostní třídy ocelí. Získat k tomu potřebná reálná data z hutní výroby i od důležitých výrobců ocelových konstrukcí však je stále mimořádně obtížné a pracné, i když platná norma navrhování ocelových konstrukcí [1] obsahuje požadavek na prokazování návrhových parametrů materiálu, což je obecně možné pouze při znalostech o reálném rozptylu pevnostních hodnot, který lze nejlépe vyjádřit příslušným histogramem.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl vypracován za finanční podpory Ministerstva průmyslu České republiky jako součást spolupráce při řešení projektu FT-TA4/018 Moderní trendy zvyšování spolehlivosti zařízení pro povrchovou těžbu užitkových nerostů a projektu FT-TA5/076 Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí pro ocelové konstrukce.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI Praha, 2006
- [2] Rozlívka L., Fajkus M.: *Statistické parametry ocelí používaných na stavbu ocelových konstrukcí*. Sborník konference DYNA 2008, Ústav aplikované mechaniky Brno, 2008
- [3] ČSN EN 10029 *Plechý ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm. Mezní úchytky rozměrů, tvaru a hmotnosti*, ČNI Praha, 1991
- [4] ČSN EN 1090-2 *Provádění ocelových konstrukcí*, UNMZ Praha, 2009
- [5] Rozlívka L., Fajkus M., Konečný P.: *Reálné pevnostní hodnoty konstrukčních ocelí a rozměrové úchytky válcovaných materiálů pro pravděpodobnostní posuzování spolehlivosti metodou SBRA*. Sborník konference SPOLEHLIVOST, Dům techniky Ostrava, 2003