

## MPO - FT-TA5/076

**Výzkum vlastností stávajících  
a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití  
pro ocelové konstrukce**  
Etapa 2 – Návrhové hodnoty patinujících ocelí na základě reálných hodnot  
z hutní výroby a statistické analýzy

**Fajkus M. , Rozlívka L.**  
**INSTITUT OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ, s. r. o.**

## Základní materiálové normy – oceli pro konstrukce

- ČSN EN10025 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí -Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky  
platí pro dalších 5 norem, které specifikují podmínky pro jednotlivé skupiny ocelí v členění podle jakosti a způsobu výroby:
- ČSN EN 10025-2:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli
- ČSN EN 10025-3:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 3: Technické dodací podmínky pro normalizačně žháné/normalizačně válcované svařitelné jemnozrné konstrukční oceli
- ČSN EN 10025-4:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 4: Technické dodací podmínky pro termomechanicky válcované svařitelné jemnozrné konstrukční oceli
- **ČSN EN 10025-5:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 5: Technické dodací podmínky pro konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi**
- ČSN EN 10025-6:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 6: Technické dodací podmínky pro široké výrobky z konstrukčních ocelí, s vyšší mezí kluzu, v zušlechťeném stavu

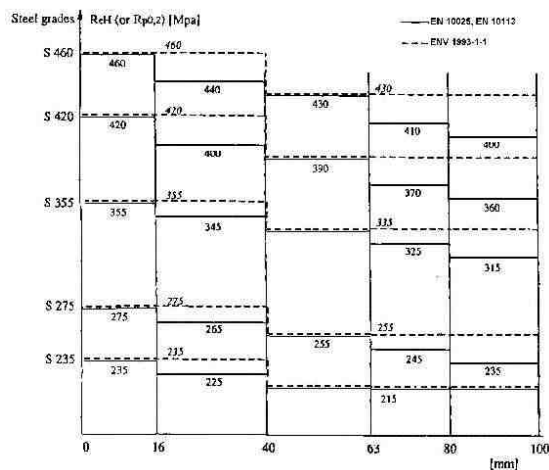
## Pevnostní vlastnosti (Eurocod 3)

Norma a	Jmenovitá tloušťka prvku $t$ (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
pevnostní třída oceli	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
<b>S 355</b>	<b>355</b>	<b>510</b>	<b>335</b>	<b>470</b>
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

## Pevnostní vlastnosti (ČSN EN10025-2)

Označení	Podle EN 10027-1 a CR 10260	Podle EN 10027-2	Minimální mez kluzu $R_{yk}$ <sup>a)</sup> MPa <sup>b)</sup> Jmenovitá tloušťka mm						Pevnost v tahu $R_m$ <sup>a)</sup> MPa <sup>b)</sup> Jmenovitá tloušťka mm			
			$\leq 16$	$> 16 \leq 40$	$> 40 \leq 63$	$> 63 \leq 80$	$> 80 \leq 100$	$> 100 \leq 150$	$> 150 \leq 200$	$< 3$	$\geq 3 \leq 100$	$> 100 \leq 150$
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	360-510	360-510	350-500	340-490
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	430-580	410-560	400-540	380-540
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	510-680	470-630	450-600	450-600
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	510-680	470-630	450-600	450-600
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	510-680	470-630	450-600	450-600
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	510-680	470-630	450-600	450-600

## Grafické porovnání minimální meze kluzu podle tl. skupin



## Metodika zpracování reálného histogramu

### Sběr dat.

- získání dat přímo od hutního výrobce  
Základní a nevhodnější možnost, zejména s ohledem na množství údajů
- od spotřebitele – výrobce konstrukce.  
Data se vypisují ručně z atestů, soubory jsou podstatně menší ale hodnotnější ve smyslu, že jde o vlastnosti materiálu použitého na konkrétní konstrukce, který byl dodáván dle volitelných požadavků v podstatě jako výběrový.
- V daném konkrétním případě byla získána data z atestů z dodávek na konstrukce mostů přes Odru z let 2001 – 2007.
- z realizované rozsáhlejší konstrukce např. při kontrole investora.

### Zpracování dat.

- Po setřídění do jakostních a tloušťkových skupin a vyřazení zjevných chyb se provádí základní statistické zpracování dat (průměr, sm odchylka.....)
- provede se kontrola modelu rozdělení dat a vyhodnocení odlehlých údajů.
- vypočte se 5ti % kvantil ( $X_k$ ) a porovná s normovou hodnotou ( $X_{nom}$ ).
- pro výpočet kvantilů 0,1% resp. 0,03% pravděpodobnosti pro stanovení dílčích koeficientů spolehlivosti se provádí obvykle exponenciální transformace dat pro zajištění maximální věrohodnosti (algoritmus vytvořený k tomuto účelu v programu QC EXPERT)

### Rozsah databáze

- pevnostní vlastnosti: mez kluzu  $R_e$  a pevnost v tahu  $R_m$ , resp. ze skutečného rozdělení hodnot  $R_e$  statisticky odvozené reálné charakteristické hodnoty  $R_k$  a návrhové hodnoty  $R_d$
- plastické vlastnosti: tažnost oceli A5, resp. poměr  $R_e/R_m$ ,
- křehkolomové vlastnosti: vrubová houževnatost oceli KCV nebo nárazová práce KV na ostrém vrubu při záporných teplotách,
- chemické složení ocelí: prvky ovlivňující tvorbu patiny a základní charakteristiky vhodnosti ke svařování – uhlíkový ekvivalent CEV.

## Tabulka četností získaných dat

Rok výroby		2001	2002	2004	2005	2007	CELKEM
Skupina	Tloušťka						
1	$\leq 16\text{mm}$	22	35	75	42	96	270
2	$> 16 \leq 40$	69	98	317	138	226	848
3	$> 40 \leq 63$	20	22	102	14	77	235
4	$> 63 \leq 80$	6	8	15	4	3	36
Celkem		117	163	509	198	401	1 389

## Základní statistika mech. vlastností

Tloušťková skupina	1 $t \leq 16\text{mm}$		2 $t > 16 \leq 40\text{mm}$		3 $t > 40 \leq 63\text{mm}$		4 $t > 63 \leq 80\text{mm}$	
	Re	Rm	Re	Rm	Re	Rm	Re	Rm
Počet	270	270	848	848	235	235	36	36
Minimum	356	490	294	490	325	516	350	509
Maximum	441	609	445	599	458	611	446	586
Střední hodnota	395,167	551,574	382,153	549,340	391,792	547,226	387,139	542,278
Směrodat. odchylka	16,846	20,193	18,867	18,926	27,555	14,007	25,872	15,436
Šikmost	-0,274	-0,466	-0,040	-0,425	-0,256	1,028	0,302	0,548

## Reálné hodnoty součinitelů spolehlivosti patinujících ocelí $\gamma_{Mi}$

Tloušťková skupina	1 $t \leq 16\text{mm}$		2 $t > 16 \leq 40\text{mm}$		3 $t > 40 \leq 63\text{mm}$		4 $t > 63 \leq 80\text{mm}$	
	ČSN EN 10025-5	ČSN EN 1993-1-1	ČSN EN 10025-5	ČSN EN 1993-1-1	ČSN EN 10025-5	ČSN EN 1993-1-1	ČSN EN 10025-5	ČSN EN 1993-1-1
<b>X<sub>nom</sub></b>	355	355	345	355	335	335	325	335
<b>X<sub>k</sub> (5%)</b>	365,70	365,70	353,04	353,04	346,13	346,13	343,95	343,95
<b>X<sub>d1</sub> (0,1%)</b>	332,80	332,80	330,27	330,27	290,30	290,30	292,20	292,20
<b>X<sub>d2</sub> (0,03%)</b>	326,06	326,06	325,17	325,17	275,41	275,41	278,65	278,65
<b><math>\gamma_{M1}</math></b>	1,067	1,067	1,045	1,075	1,154	1,154	1,112	1,146
<b><math>\gamma_{M2}</math></b>	1,089	1,089	1,061	1,092	1,216	1,216	1,166	1,202

## Výpočet dílčího součinitele spolehlivosti materiálu:

Sortiment: tlusté plechy S355J2W,  
tloušťka 3-16mm

Pro  $p = 0,1\%$

$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d1} = 355/332,8 = 1,067$$

Pro  $p = 0,03\%$

$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d2} = 355/326,06 = 1,089$$

### Výpočet dílčího součinitele spolehlivosti materiálu:

Sortiment: tlusté plechy S355J2W,  
tloušťka 17-40 mm

Pro  $p = 0,1\%$

$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d1} = 345/330,27 = 1,045$$

$$\text{dle EC3 } 355/330,27 = 1,075$$

Pro  $p = 0,03\%$

$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d2} = 345/325,17 = 1,061$$

$$\text{dle EC3 } 355/325,17 = 1,092$$

### Výpočet dílčího součinitele spolehlivosti materiálu:

Sortiment: tlusté plechy S355J2W,  
tloušťka 40 - 63 mm

Pro  $p = 0,1\%$

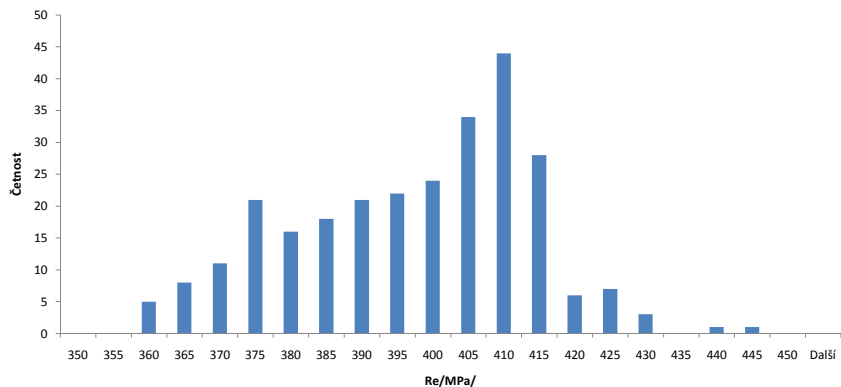
$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d1} = 335/290,27 = 1,154$$

Pro  $p = 0,03\%$

$$\gamma_{Mi} = X_{nom}/X_{d2} = 335/275,41 = 1,216$$

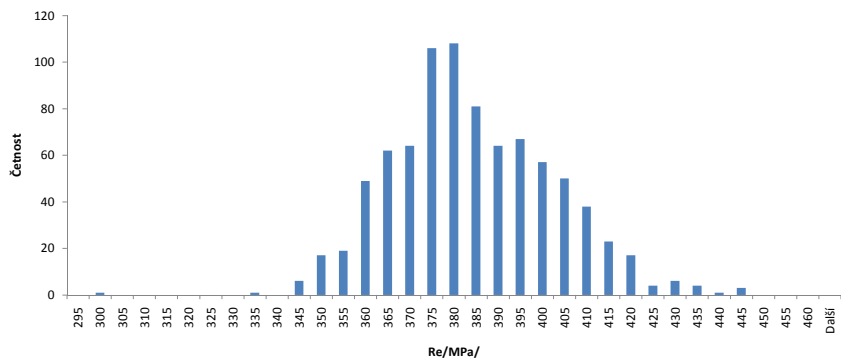
### Histogramy mechanických vlastností

**S355J2W, mez kluzu  
tl.do 16 mm**



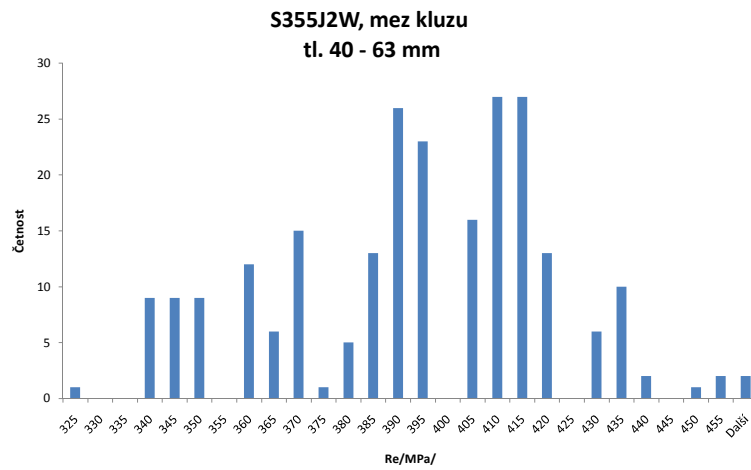
### Histogramy mechanických vlastností

**S355J2W, mez kluzu  
tl. 17 - 40 mm**

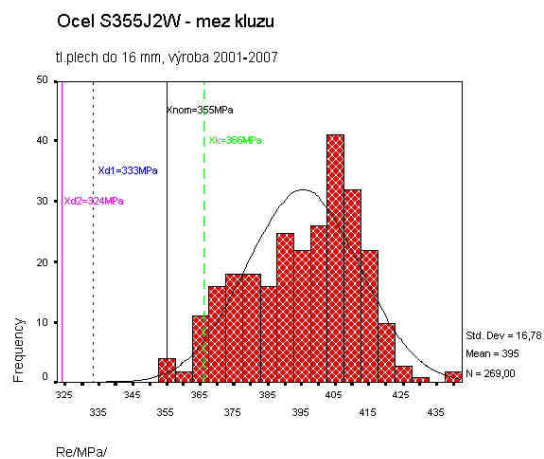




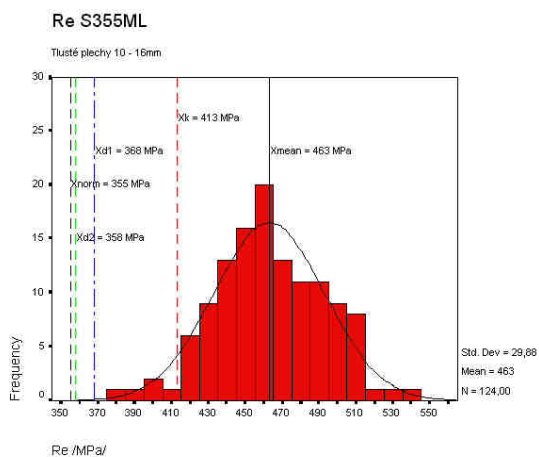
## Histogramy mechanických vlastností



## Mez kluzu oceli Atmofix

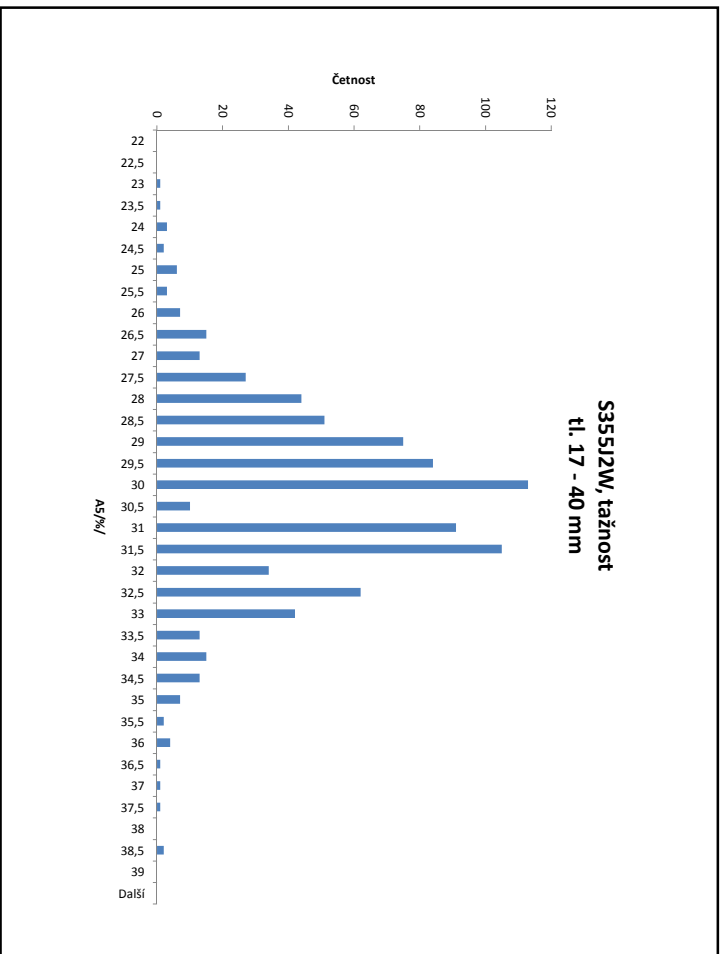
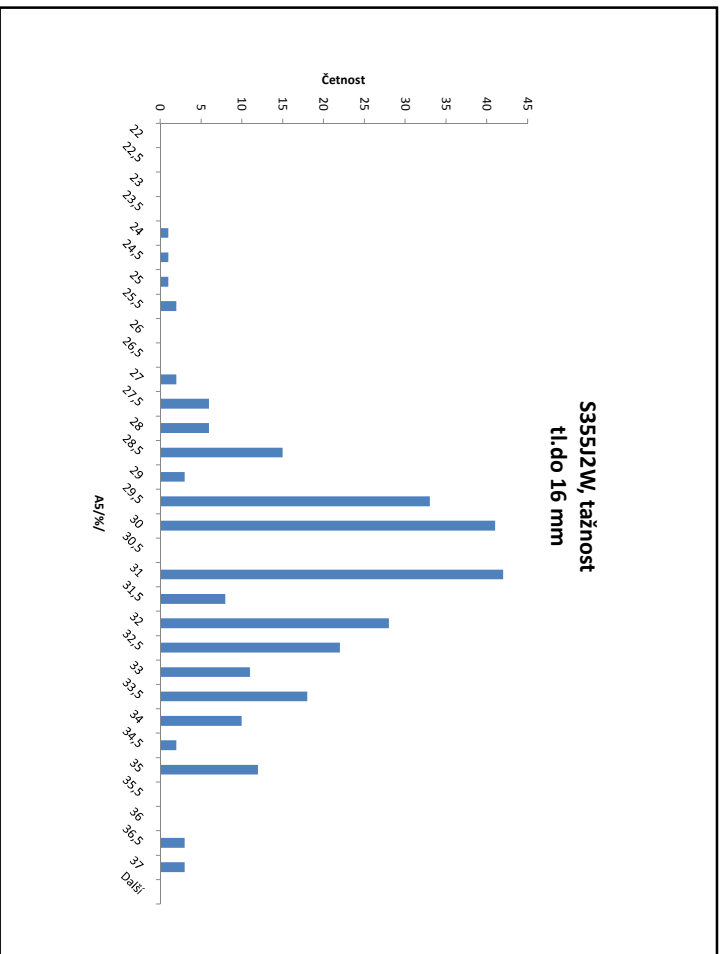


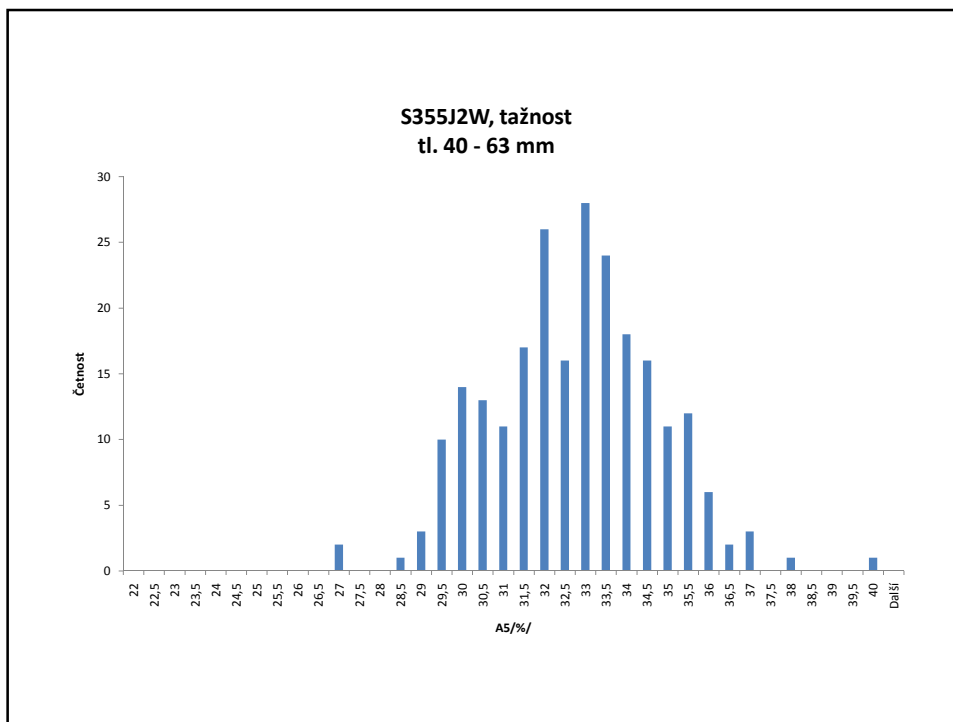
## Mez kluzu oceli S355ML



### Výsledky statistické analýzy hodnot tažnosti A5 plechů z patinujících ocelí S355J2W

Tloušťková skupina	1 $t \leq 16\text{mm}$	2 $t > 16 \leq 40\text{mm}$	3 $t > 40 \leq 63\text{mm}$	4 $t > 63 \leq 80\text{mm}$
Počet	270	848	235	36
Minimum	23,8	23,0	27,0	26,0
Maximum	37,0	38,5	39,8	35,8
Střední hodnota	30,98	30,20	32,53	32,17
Směrodat. Odchylka	2,191	2,121	2,010	2,478
Špičatost	0,568	0,770	0,161	0,492
Šikmost	0,006	0,026	0,081	-0,863
ČSN EN 1025-5	min 22		min 21	min 20





### Poměr pevnosti v tahu $R_m$ a meze kluzu $R_e$

Tloušťková skupina	1 $t \leq 16\text{mm}$	2 $t > 16 \leq 40\text{mm}$	3 $t > 40 \leq 63\text{mm}$	4 $t > 63 \leq 80\text{mm}$
Počet	270	848	235	36
Minimum	1,29	1,24	1,24	1,28
Maximum	1,54	1,86	1,65	1,51
Střední hodnota	1,40	1,44	1,40	1,4
Směrodat. odchylka	0,04	0,05	0,01	0,07
Špičatost	0,37	5,57	-0,16	-1,13
Šikmost	0,39	0,7	0,77	-0,06
ČSN EN 1993-1-1	min 1,10			

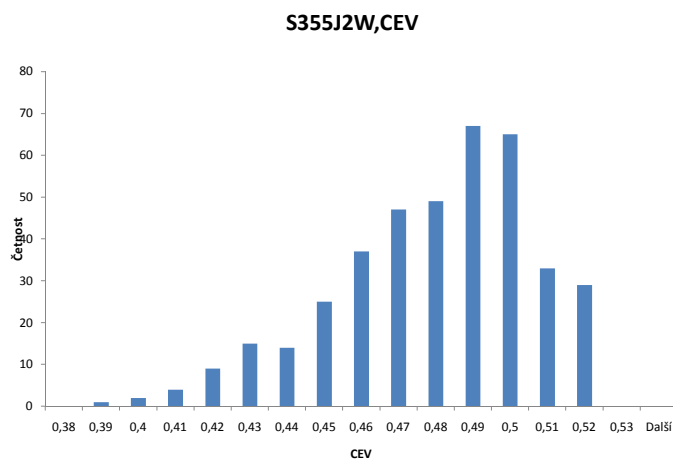
## Nárazová práce KVprům při zkušební teplotě -25 °C

Tloušťková skupina	1 t ≤ 16mm	2 t > 16 ≤ 40mm	3 t > 40 ≤ 63mm	4 t > 63 ≤ 80mm
Počet	270	848	235	36
Minimum	66,33	46,67	90,67	104
Maximum	300	300	267	265,67
Střední hodnota	204,98	230,07	166,24	170,79
Směrodat. odchylka	53,77	39,37	32,78	44,58
Špičatost	-0,221	-0,031	0,421	-0,207
Šikmost	-0,434	-0,421	0,454	0,801
ČSN EN 1025-5	min 27 J při teplotě -20 °C			

## Chemické složení - S355J2W

	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni
ČSN EN 10025-5	Max.0,19	0,45-1,60	Max.0,55	Max.0,035	Max.0,035	0,20-0,60	0,35-0,85	Max. 0,70
Stř. hodnota	0,139	1,251	0,354	0,007	0,019	0,316	0,481	0,119
Chyba stř. hodnoty	0,001	0,009	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,006
Medián	0,14	1,3	0,35	0,006	0,018	0,31	0,47	0,04
Směr. odchylka	0,013	0,179	0,033	0,002	0,004	0,032	0,041	0,126
Špičatost	1,560	-1,548	2,089	0,298	0,298	0,109	2,278	-0,888
Šikmost	-0,879	-0,318	-0,414	0,420	0,163	0,655	1,304	0,943
Minimum	0,08	0,9	0,23	0,002	0,008	0,25	0,41	0,01
Maximum	0,162	1,5	0,46	0,015	0,03	0,42	0,64	0,48
Počet	396	395	396	398	398	396	396	396

## Histogram výskytu uhlíkového ekvivalentu



## Statistické parametry návrhových histogramů meze kluzu tlustých plechů S355 J2W

	Reálný histogram				Návrhový histogram			
	do 16	17–40	41–63	64–80	do 16	17–40	41–63	64–80
Tloušťka /mm/	do 16	17–40	41–63	64–80	do 16	17–40	41–63	64–80
Průměr /MPa/	395,17	382,15	391,79	387,14	395	382	392	387
Směr.odchylka	16,85	18,87	27,56	25,87	17,0	19,0	27,5	26,0
Šikmost	-0,27	-0,04	-0,26	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0
Min. /MPa/	356	294	325	350	344	325	309,5	309
Max. /MPa/	441	445	458	446	446	439	474,5	465
Návrhová hodnota $f_{yd}$ podle ČSN EN 1993-1-1 /Mpa/					355		335	

## Závěr

Skutečné hodnoty součinitelů spolehlivosti materiálu se přibližují doporučeným hodnotám, s odchylkami pro tloušťkové skupiny.

Mechanické vlastnosti vyhovují požadavkům norem pro navrhování ocelových dynamicky namáhaných konstrukcí.

Chemické složení dodaných plechů ocelí S355J2W je v plném souladu s předpisem pro tuto ocel.

Uhlíkový ekvivalent nepřekračuje přípustný limit.