

Kontrola vlastností železničních kol jakosti ER7T –porovnání lomové houževnatosti ve vztahu k ostatním mechanickým zkouškám

Ing. Zdeněk Jendřejčík
BONATRANS a. s.

Ing. Vladimíra Nelibová
BONATRANS a. s.

1. BONATRANS – výrobce železničních kol

BONATRANS a. s. je významným evropským výrobcem komponent pro kolejová vozidla – zejména tedy dvojkolí a volných dílů (tj. kol, náprav a obručí). Společnost ročně vyrobí cca. 190.000 kusů výrobků a přes 90 % výrobků nachází své zákazníky mimo území České republiky. Společnost BONATRANS ročně vynakládá značné prostředky do oblasti ověřování jakosti vlastních výrobků a tedy do rozvoje akreditovaného zkušebnictví, které je v rámci společnosti zajišťováno nezávislým oddělením Metalurgická zkušebna.

Typickým zástupcem výrobku společnosti BONATRANS je železniční kolo pro nákladní dopravu o průměru 920 mm vyrobené z oceli R7T, resp. ER7T, vždy však s kalenou věncovou částí. Jakost ER7T, jenž je definována normou EN 13262, vychází z jakosti R7T dle standardu UIC 812-3. Mimo sledování rozměrových charakteristik je nezbytné ověřování kvality výrobků pomocí následujících zkoušek a hodnocení:¹⁾

- 1) Zkouška tahem věncové a deskové části kola při normální teplotě
- 2) Zkouška rázem v ohybu na Charpyho kladivě při teplotách vzorku +20°C a -20°C
- 3) Zkouška tvrdosti podle Brinella po průřezu věncové části kola
- 4) Zkouška tvrdosti podle Brinella na vnějším čele kola
- 5) Zkouška chemického složení metodou optické emisní spektrometrie
- 6) Zkouška lomové houževnatosti na kompaktních vzorcích CT30
- 7) Hodnocení mikročistoty oceli
- 8) Kontrola vnitřního tlakového pnutí ve věnci kola
- 9) Zkouška vnitřní celistvosti ultrazvukem odrazovou metodou
- 10) Kontrola povrchů magnetickou metodou polévací

Četnosti zkoušek:¹⁾

1,2,3,5,7,8 – 1 zkouška připadající na výrobní dávku max. 250 kol (za výrobní dávku se považuje skupina výrobků společně procházející procesem výroby, u nichž jsou zaručeny podmínky stejných mechanických vlastností, tj. jedna tavba oceli procházející společně tepelným zpracováním)

4 – 100% kontrola každého surového kola před finálním opracováním

6 – dle dohody s odběratelem; zpravidla 1 sada 6 kusů z jediného kola připadající na 2000 kusů výrobků

9,10 – 100% kontrola každého finálně opracovaného kusu

U typického kola pro nákladní dopravu vyrobeného z jakosti ER7T jsou požadovány následující vlastnosti:

Chemické složení:¹⁾

Maximální přípustná koncentrace prvků jakosti ER7T(%):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Požadované výrobkové vlastnosti:¹⁾

věncová část: - $R_{p0,2}(R_{eH}) = \text{min. } 520 \text{ MPa}$, $R_m = 820 \text{ až } 940 \text{ MPa}$, $A=15\%$

- $KU5/300$ při 20°C = min. 12 J a průměr ze tří zkoušek min. 17 J

- $KV2/300$ při -20°C = min. 7 J a průměr ze tří zkoušek min. 10 J

- HBW5/750: 235 HB ve hloubce 35 mm od jízdní plochy kola
- K_Q min. 70 MPa.m^{1/2}, průměr ze šesti hodnot min. 80 MPa.m^{1/2}
- čistota oceli dle ISO 4967:98 met. A (silná/slabá série):
- sulfidy 1,5/2; hlinitany 1,5/2; silikáty 1,5/2; globulární oxidy 1,5/2; součet posledních tří charakteristik 3/4
- tlakové prnutí ve věncové části výrobku, které vyvolá smrštění min. 1 mm délky 100 mm naznačené na věnci kola po rozpálení kola od věnce k náboji:
- maximální přípustná vnitřní vada: 2 mm FBH
- max. délka povrchové vady 2 mm na obrobených nebo 6 mm na surových kolech

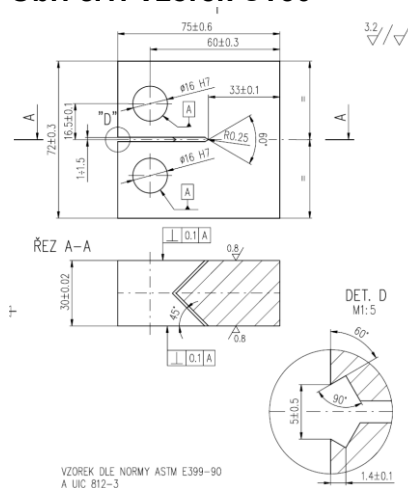
desková část: R_{eH} nebo $R_{p0,2}$ informativně, R_m nižší min. o 110 MPa oproti R_m věncové části, A min. 16%
max. délka povrchové vady 2 mm na obrobených nebo 6 mm na surových kolech

2. Zkouška lomové houževnatosti – významná charakteristika pro hodnocení železničních kol

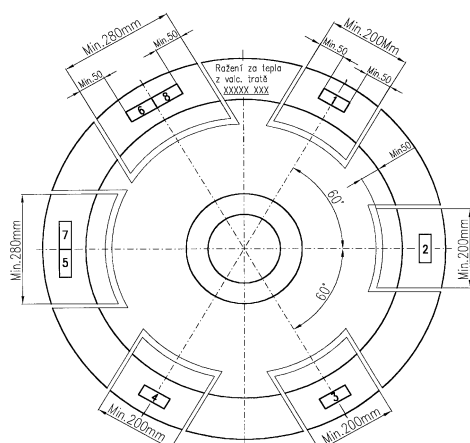
Významnou destruktivní charakteristikou, která je u železničních kol posuzována, je oblast lomového chování, resp. lomové houževnatosti. Lomová houževnatost bývá hodnocena zejména u kol používaných v nákladní dopravě se systémem brzdění pomocí špalíkových brzd, kdy dochází oproti kotoučovým brzdám k přímému kontaktu brzdného systému s kolem, a existuje tak vyšší pravděpodobnost lomového porušení. Cílem této zkoušky je tedy číselně vyjádřit odolnost výrobku s potenciální vadou proti porušení v důsledku působení vnějších sil.

Ke zjištění lomové houževnatosti železničních kol jsou využívány kompaktní vzorky o tloušťce 30 mm, označované též jako CT30 (viz. obr. č. 1). Zpravidla je odebíráno 6 ks vzorků z věncové části kola (vždy vzájemně posunutých o 60° - viz. obr. č. 2). Na zmíněném nákrese jsou popsána místa odběru 8 kusů, tj. 6 standardních + 2 kusů pro případnou náhradní zkoušku.

Obr. č.1: Vzorek CT30 ²⁾



Obr. č. 2: Místa odběru vzorků CT30 ³⁾



Proces zkoušení lomové houževnatosti každého zkušebního tělesa je definován dvěma částmi:

- 1) přípravou únavové trhliny
- 2) vlastní zkouškou – tj. působením napětí kolmému na směr rozvinuté trhliny

Při přípravě trhliny je nutno dodržet následující základní normativní podmínky:

- vzorek nesmí v průběhu zkoušky zvažovat teplotu

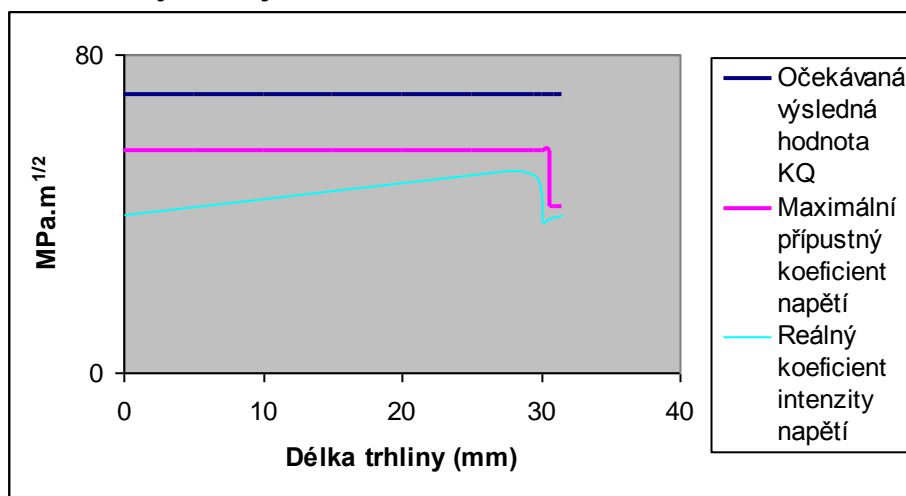
- směr šíření trhliny musí být kolmý na působící napětí (s max. tolerancí odklonu roviny šíření trhliny 10% od směru kolmého na směr působící síly zatěžování)
- délka připravené trhliny musí mít výslednou délku 0,45 – 0,55 W (kde W, je skutečná vzdálenost mezi osou zatížení a stěnou vzorku bez vrubu)
- v každém okamžiku zkoušky nesmí faktor intenzity napětí K překročit definovanou úroveň; ta je požadována do 80% předpokládané výsledné hodnoty K_Q v prvních 97,5% délky během její přípravy, a poslední 2,5% je požadován faktor intenzity napětí na 60% výsledné délky.

Pozn.: Faktor intenzity napětí K má stejný fyzikální rozměr jako výsledná hodnota lomové houževnatosti tj. $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ a určuje intenzitu napětí v závislosti na působící síle, vztažné ploše a délce existující vady (trhliny).

Je-li tedy očekávána minimální výsledná hodnota $K_Q = 70 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, pak nesmí být v první části přípravy trhliny překročen faktor intenzity napětí hodnotou vyšší než $56 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, a v konečné fázi pak hodnotu $42 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Vzhledem k nárůstu trhliny v čase a snižování velikosti vtažné plochy roste při konstantním cyklu hodnota faktoru intenzity napětí. Z tohoto důvodu je pro splnění omezujících normativních podmínek nutno během přípravy trhliny upravit zatěžující cyklus (viz. obr. č. 3).

Obr. č. 3: Hodnota faktoru intenzity napětí v závislosti na délce trhliny a zvolené amplitudě zatěžujícího cyklu



Na základě zkušeností a provedených experimentálních zkoušek byl v BONATRANS a.s nadefinován univerzální postup pro přípravu únavových trhlin u vzorků CT30 s chevronovým vrubem. Níže uvedené podmínky zaručují rychlý, normativně správný a bezproblémový proces přípravy trhliny.

Podmínky přípravy trhliny u vzorků CT30 v BONATRANS, a. s.:

- střední hodnota zatížení 19, 8 kN
- maximální hodnota zatížení 36 kN, minimální hodnota zatížení 3,6 kN, sinusový tvar vlny
- automatické snížení amplitudy při dosažení délky trhliny 29,5 mm (délka je v reálném čase monitorována pomocí snímače rozevření trhliny, pomocí kterého je on-line přepočítáváno rozevření vzorku na přírůstek délky trhliny – jedná se o algoritmus vyvinutý společností INSTRON, kdy na výsledná délka je během přípravy průběžně vypočítávána na základě změny tuhosti vzorku; tato funkce je rovněž využita k bezpečnostním ochranám zařízení).

Jak již bylo definováno, v posledních 2,5% délky je nutno snížit intenzitu zatěžování, a proto dochází ke změně zatěžovacích podmínek na:

střední hodnota zatížení 13,7 kN

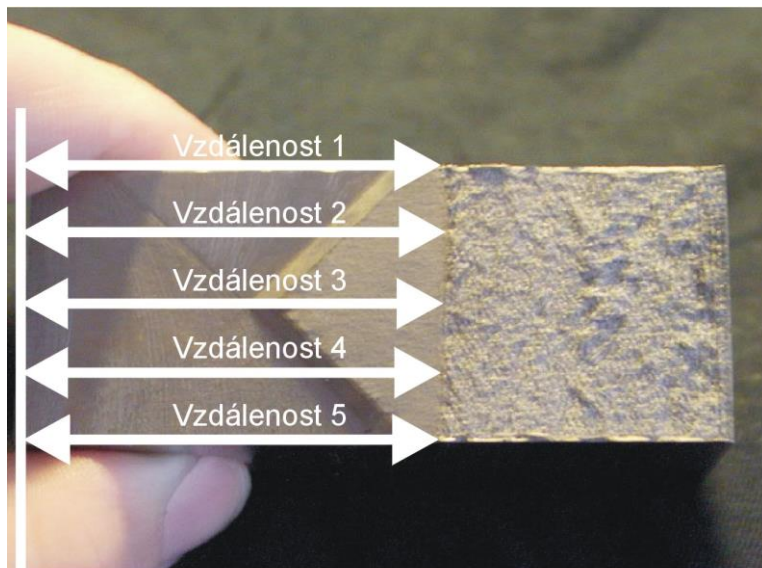
maximální hodnota 24,9 kN, minimální hodnota zatížení 2,49 kN, sinusový tvar vlny

automatické vypnutí cyklování při dosažení délky trhliny 31,5 mm

Během celé fáze přípravy trhliny je použita frekvence 30 Hz.

Jakmile je automaticky pozastaveno cyklování při dosažení požadované délky trhliny, dochází k odtižení a nulování vstupních datových kanálů (síla, rozevření vzorku). Následuje lineární zatěžování obdobné zkoušce tahem, až do fáze kritického šíření trhliny, resp. přelomení vzorku. Vstupními informacemi pro výpočet výsledné hodnoty K_Q je graf zatěžování v souřadnicích X-Y (X: délka rozevření vzorku (mm); Y: působící síla (N)) a reálné hodnoty délky trhliny vypočtené ze vzdálenosti únavové trhliny od vrubové strany vzorku (viz. obr. č. 4).

Obr. č. 4: Měřené referenční délky trhliny na vzorku CT30 s chevronovým vrubem⁴⁾



Konečná hodnota K_Q je následně stanovena výpočtem pomocí softwaru v souladu s ASTM E 399-90.

3. Experimentální data z hodnocení vlastností

Dlouhodobým sledováním měřených dat byl získán statistický soubor, jenž umožňuje další vyhodnocení závislosti jednotlivých dílčích parametrů. I přes rozdílnou povahu sledovaných charakteristik nacházíme určité závislosti.

Význam hledání závislostí souvisí s finanční a časovou náročností procesu přípravy a zkoušení lomové houževnatosti. Cílem však není nahradit zkoušku lomové houževnatosti, ale znalosti výsledků standardních mechanických zkoušek a jejich vztahu k lomové houževnatosti využít k predikci pravděpodobnosti úspěchu při zkoušce lomové houževnatosti.

V důsledku toho sledujeme hodnoty mechanických zkoušek ve vzájemném porovnání k hodnotám lomové houževnatosti, s cílem nalézt optimální empirický vztah popisující vzájemnou závislost. Způsob nalezení takových vztahů lze popsat na níže uvedené tabulce, která zahrnuje, kromě kompletních hodnot výsledků lomové houževnatosti také $R_{p0,2}$, R_m , $KU5$.

Ze uvedených výsledků usuzujeme, že vyšší vypovídací hodnotu budou mít data získána z výrobků, jenž se vyznačují homogennějšími výsledky lomové houževnatosti v celém posu-

zovaném objemu. V následující tabulce jsou pro jednotlivá testovaná kola uvedeny vždy šestice naměřených hodnot lomové houževnatosti. Za kritérium homogenity považujeme rozdíl mezi průměrnou a minimální hodnotou z této šestice menší než $2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Význam této selekce je patrný z níže uvedených závislostí, kdy po jejím zavedení významně roste hodnota koeficientu spolehlivosti regresních funkcí, viz. obr. 6, 8, 10 oproti nehomogenním souborům na obr. 5, 7, 9.

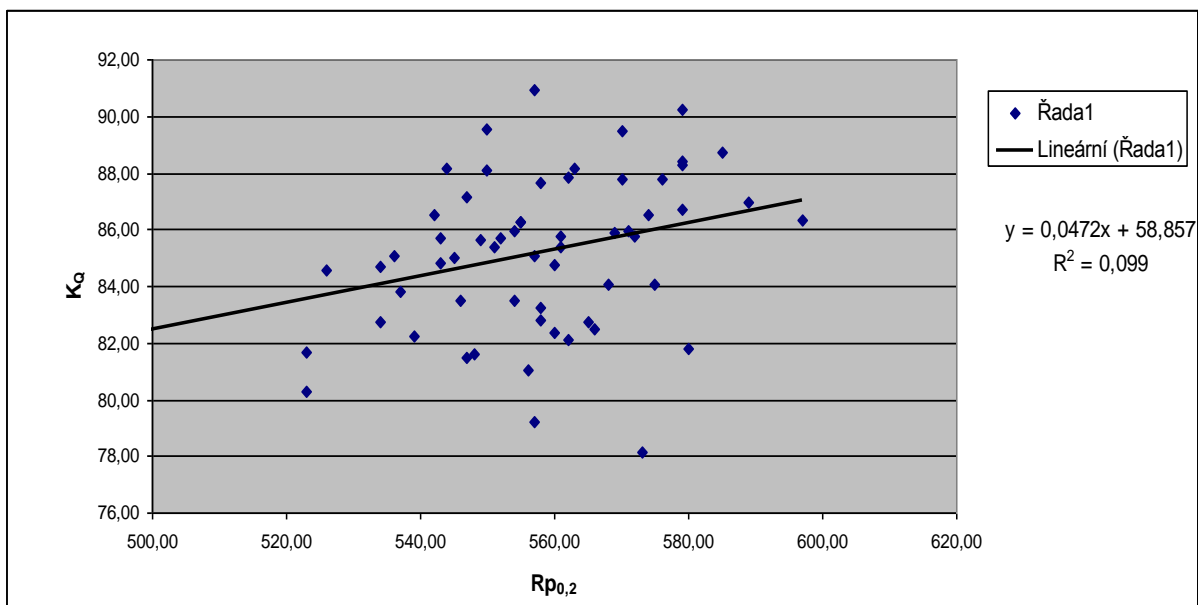
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

	1 MPa.m ^{1/2}	2 MPa.m ^{1/2}	3 MPa.m ^{1/2}	4 MPa.m ^{1/2}	5 MPa.m ^{1/2}	6 MPa.m ^{1/2}	Minimum MPa.m ^{1/2}	Průměr MPa.m ^{1/2}	Rozdíl p _{min} MPa.m ^{1/2}	Rp0,2 MPa	Rm MPa	A %	KU5 J	KU5 J	KU5 J	Průměr J
1	79,68	86,74	85,30	74,92	86,52	86,24	74,92	83,23	8,31	558,00	892,00	19,20	28,00	26,00	30,00	28,00
2	84,07	87,00	84,25	87,68	82,81	84,47	82,81	85,05	2,24	536,00	881,00	16,40	50,00	30,00	30,00	36,67
3	85,41	80,58	84,97	87,01	84,83	85,76	80,58	84,76	4,18	560,00	899,00	19,60	28,00	27,00	29,00	28,00
4	86,88	86,19	87,15	82,10	86,82	85,39	82,10	85,76	3,66	572,00	903,00	18,00	30,00	29,00	29,00	29,33
5	90,66	90,69	91,72	92,20	90,74	89,63	89,63	90,94	1,31	557,00	921,00	17,00	31,00	27,00	31,00	29,67
6	83,71	84,63	84,54	87,06	86,13	86,36	83,71	85,41	1,69	561,00	909,00	19,60	26,00	28,00	29,00	27,67
7	91,27	83,24	92,01	86,38	89,65	89,94	83,24	88,75	5,51	585,00	932,00	19,80	28,00	26,00	25,00	26,33
8	87,41	87,48	86,07	87,41	85,12	88,38	85,12	86,98	1,86	589,00	904,00	16,00	29,00	28,00	26,00	27,67
9	90,32	89,44	89,28	88,34	90,56	88,94	88,34	89,48	1,14	570,00	910,00	17,60	31,00	29,00	30,00	30,00
10	90,18	89,04	83,13	89,68	88,94	89,41	83,13	88,40	5,27	579,00	926,00	18,00	29,00	28,00	27,00	28,00
11	83,07	85,82	73,18	86,09	84,90	83,77	73,18	82,81	9,62	558,00	902,00	23,00	25,00	27,00	28,00	26,67
12	87,21	87,08	85,46	86,42	86,27	85,02	85,02	86,24	1,22	555,00	898,00	19,20	28,00	27,00	28,00	27,67
13	89,96	91,18	89,70	89,51	91,85	89,17	89,17	90,23	1,06	579,00	928,00	17,40	26,00	26,00	28,00	26,67
14	82,30	83,82	82,80	81,72	83,95	81,94	81,72	82,76	1,04	534,00	868,00	20,80	24,00	24,00	28,00	25,33
15	87,99	91,54	89,22	91,47	70,14	88,84	70,14	86,53	16,39	542,00	881,00	19,80	31,00	32,00	29,00	30,67
16	88,87	88,67	89,66	87,38	88,41	72,76	72,76	85,96	13,20	554,00	902,00	19,20	28,00	26,00	29,00	27,67
17	88,95	90,35	89,88	89,33	80,84	90,22	80,84	88,26	7,42	579,00	915,00	17,20	32,00	29,00	29,00	30,00
18	88,36	85,70	88,05	88,67	88,50	87,73	85,70	87,84	2,13	562,00	894,00	19,00	31,00	28,00	28,00	29,00
19	87,65	86,79	88,26	87,78	88,14	75,92	75,92	85,76	9,84	561,00	902,00	17,60	26,00	28,00	29,00	27,67
20	87,67	88,57	77,55	86,97	88,11	86,86	77,55	85,96	8,41	571,00	914,00	18,40	26,00	26,00	27,00	26,33
21	75,55	87,97	89,26	88,24	89,38	87,19	75,55	86,27	10,72	555,00	893,00	19,40	28,00	27,00	29,00	28,00
22	89,06	87,89	87,62	89,47	86,88	87,85	86,88	88,13	1,25	544,00	847,00	18,60	30,00	27,00	32,00	29,67
23	85,43	70,46	84,81	84,03	83,84	84,80	70,46	82,23	11,77	539,00	875,00	18,40	28,00	26,00	32,00	28,67
24	89,65	88,73	88,93	89,52	90,31	89,94	88,73	89,51	0,78	550,00	902,00	18,80	27,00	28,00	28,00	27,67
25	76,05	86,51	71,22	86,43	86,83	86,95	71,22	82,33	11,11	560,00	892,00	19,80	31,00	28,00	34,00	31,00
26	86,74	86,29	87,96	87,16	86,74	87,96	86,29	87,14	0,85	547,00	902,00	20,00	31,00	30,00	35,00	32,00
27	83,70	84,97	85,73	84,56	84,20	84,12	83,70	84,55	0,85	526,00	859,00	18,00	30,00	32,00	34,00	32,00
28	72,01	91,59	90,10	90,25	90,94	90,99	72,01	87,65	15,64	558,00	907,00	18,60	29,00	28,00	28,00	28,33
29	80,61	94,32	93,04	81,65	80,63	87,81	80,61	86,34	5,73	597,00	939,00	18,40	30,00	30,00	25,00	28,33
30	88,81	88,61	87,93	89,00	88,03	86,68	86,68	88,18	1,50	563,00	915,00	19,60	30,00	28,00	32,00	30,00
31	86,42	85,34	75,22	86,71	89,36	87,01	75,22	85,01	9,79	545,00	878,00	18,00	30,00	30,00	31,00	30,33
32	88,44	80,94	90,54	88,10	89,03	77,11	77,11	85,69	8,58	543,00	900,00	19,00	27,00	25,00	31,00	27,67

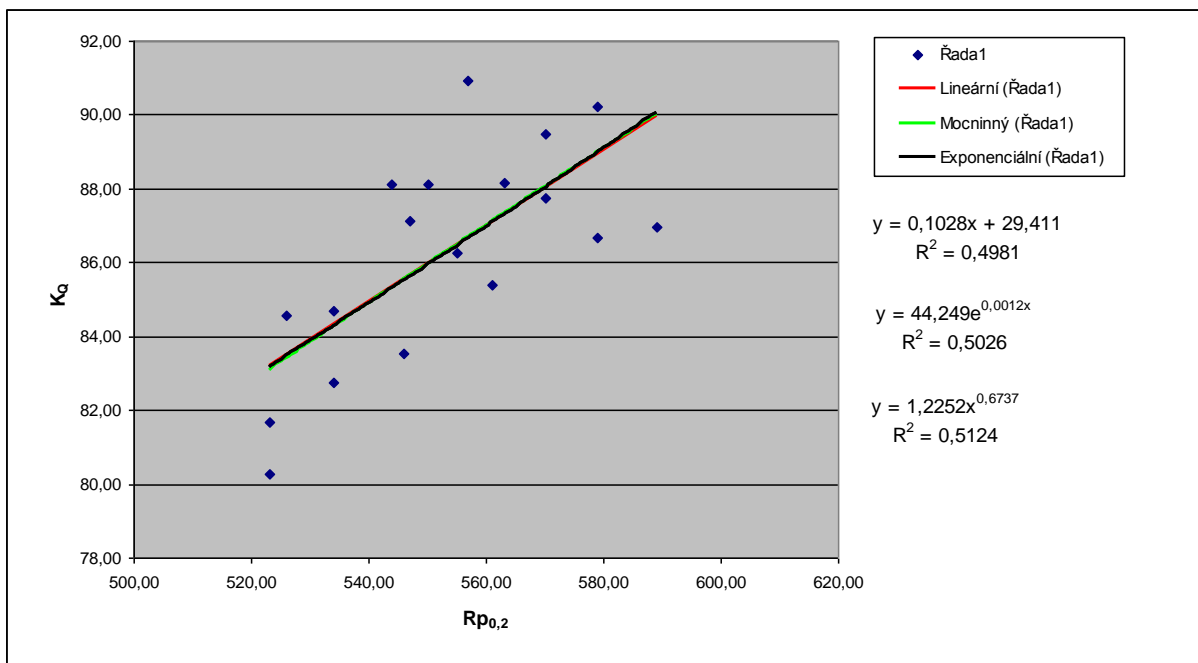
	1 MPa.m ^{1/2}	2 MPa.m ^{1/2}	3 MPa.m ^{1/2}	4 MPa.m ^{1/2}	5 MPa.m ^{1/2}	6 MPa.m ^{1/2}	Minimum MPa.m ^{1/2}	Průměr MPa.m ^{1/2}	Rozdíl p _{min} MPa.m ^{1/2}	Rp0,2 MPa	Rm MPa	A %	KU5 J	KU5 J	KU5 J	Průměr J
33	83,53	84,72	84,98	85,07	84,35	85,58	83,53	84,71	1,18	534,00	876,00	19,60	28,00	27,00	32,00	29,00
34	86,94	81,75	84,74	85,72	85,95	85,32	81,75	85,07	3,32	557,00	901,00	17,40	27,00	27,00	31,00	28,33
35	91,39	89,23	81,88	88,08	89,81	78,81	78,81	86,53	7,72	574,00	926,00	18,60	29,00	29,00	28,00	28,67
36	81,02	88,97	88,90	89,94	88,65	89,21	81,02	87,78	6,76	576,00	913,00	18,20	27,00	29,00	28,00	28,00
37	70,74	77,71	87,63	84,82	88,85	79,20	70,74	81,49	10,75	547,00	887,00	18,20	28,00	26,00	29,00	27,67
38	86,88	85,84	85,83	86,47	88,67	80,57	80,57	85,71	5,14	552,00	894,00	19,40	30,00	29,00	31,00	30,00
39	83,17	86,86	86,60	83,20	86,29	86,03	83,17	85,36	2,19	551,00	897,00	16,40	28,00	31,00	29,00	29,33
40	86,48	86,25	82,74	86,74	85,99	80,62	80,62	84,80	4,18	543,00	894,00	20,90	22,00	23,00	14,00	19,67
41	78,76	79,42	80,38	81,22	80,73	81,18	78,76	80,28	1,52	523,00	875,00	22,60	17,00	23,00	25,00	21,67
42	84,85	84,66	85,27	85,02	83,76	79,48	79,48	83,84	4,36	537,00	882,00	17,20	25,00	22,00	27,00	24,67
43	87,84	87,40	87,08	88,54	87,58	88,14	87,08	87,76	0,68	570,00	891,00	17,60	28,00	26,00	26,00	26,67
44	83,59	86,81	71,20	88,54	88,23	86,00	71,20	84,06	12,86	575,00	916,00	17,60	28,00	27,00	32,00	29,00
45	84,31	84,21	81,54	84,42	83,85	82,80	81,54	83,52	1,98	491,00	836,00	17,20	29,00	26,00	23,00	26,00
46	84,89	72,49	80,70	81,59	84,41	82,05	72,49	81,02	8,53	556,00	902,00	19,80	28,00	26,00	28,00	27,33
47	73,89	76,94	86,26	84,09	83,66	90,03	73,89	82,48	8,59	566,00	908,00	20,40	29,00	25,00	30,00	28,00
48	88,16	87,60	88,54	81,41	86,86	81,16	81,16	85,62	4,46	549,00	883,00	15,80	28,00	28,00	31,00	29,00
49	85,04	82,91	84,45	82,78	82,56	83,16	82,56	83,48	0,92	554,00	879,00	17,60	23,00	22,00	24,00	23,00
50	87,15	86,67	86,50	86,44	86,52	86,87	86,44	86,69	0,25	579,00	904,00	19,60	31,00	28,00	29,00	29,33
51	81,69	80,88	81,87	81,46	81,83	82,21	80,88	81,66	0,78	523,00	842,00	20,40	30,00	27,00	28,00	28,33
52	85,35	86,37	82,50	87,04	88,09	86,02	82,50	85,90	3,40	569,00	905,00	19,80	26,00	23,00	29,00	26,00
53	87,92	87,92	88,20	87,97	87,93	88,69	87,92	88,11	0,19	550,00	892,00	18,80	26,00	26,00	27,00	26,33
54	84,69	82,88	83,50	84,20	82,75	83,09	82,75	83,52	0,77	546,00	877,00	18,40	29,00	27,00	28,00	28,00
55	82,70	82,61	79,13	76,52	83,29	85,26	76,52	81,59	5,07	548,00	888,00	18,20	28,00	27,00	27,00	27,33
56	83,74	88,24	85,19	79,75	82,53	77,08	77,08	82,76	5,67	565,00	909,00	18,00	26,00	25,00	26,00	25,67
57	87,19	80,74	78,05	81,23	66,96	81,09	66,96	79,21	12,25	557,00	906,00	19,60	26,00	26,00	30,00	27,33
58	77,63	78,98	82,96	84,98	68,06	76,10	68,06	78,12	10,06	573,00	908,00	17,80	28,00	25,00	28,00	27,00
59	89,07	77,44	77,79	83,93	85,17	79,41	77,44	82,14	4,70	562,00	902,00	19,00	30,00	28,00	31,00	29,67
60	80,98	81,82	89,05	90,31	75,32	86,93	75,32	84,07	8,75	568,00	911,00	17,20	29,00	29,00	30,00	29,33
61	86,05	78,67	80,20	83,07	83,51	79,46	78,67	81,83	3,16	580,00	890,00	20,40	27,00	23,00	29,00	26,33

Pozn: Zelenou barvou jsou vyznačena kola, která odpovídají zařazení do homogenního souboru, tj. rozdíl p_{min} je menší než 2 MPa.m^{1/2}

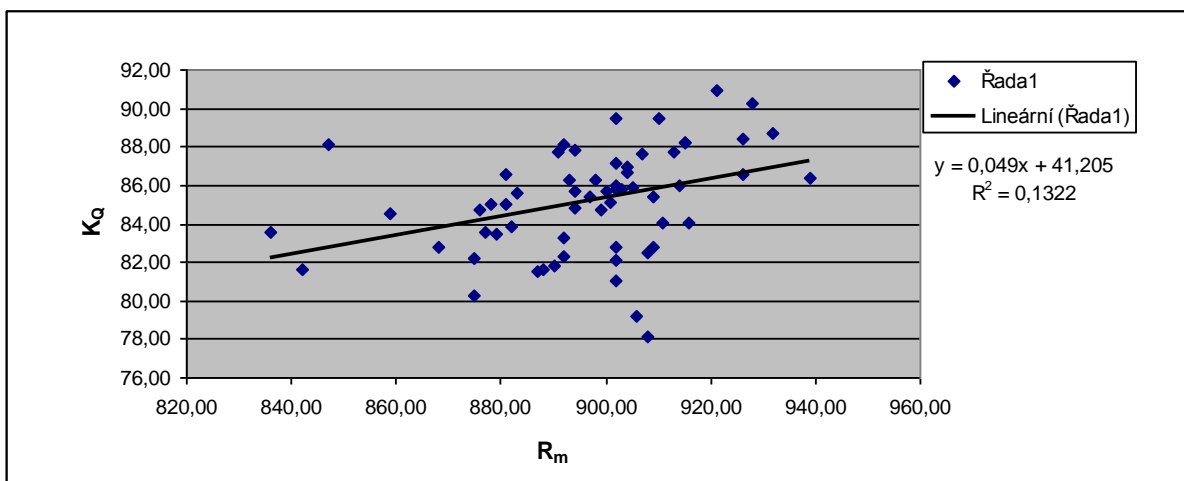
Obr.č. 5: Závislost průměrné hodnoty K_Q na $R_{p_{0,2}}$ celého souboru



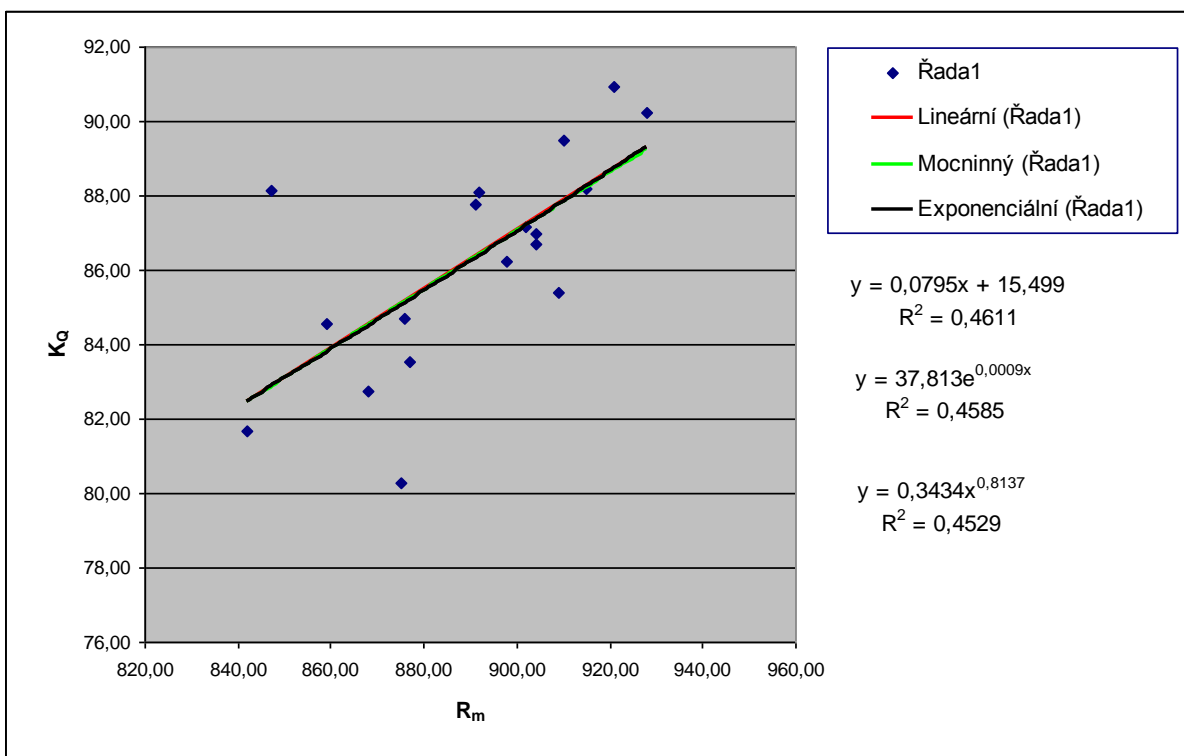
Obr.č. 6 Závislost průměrné hodnoty K_Q na $R_{p_{0,2}}$ homogenního souboru



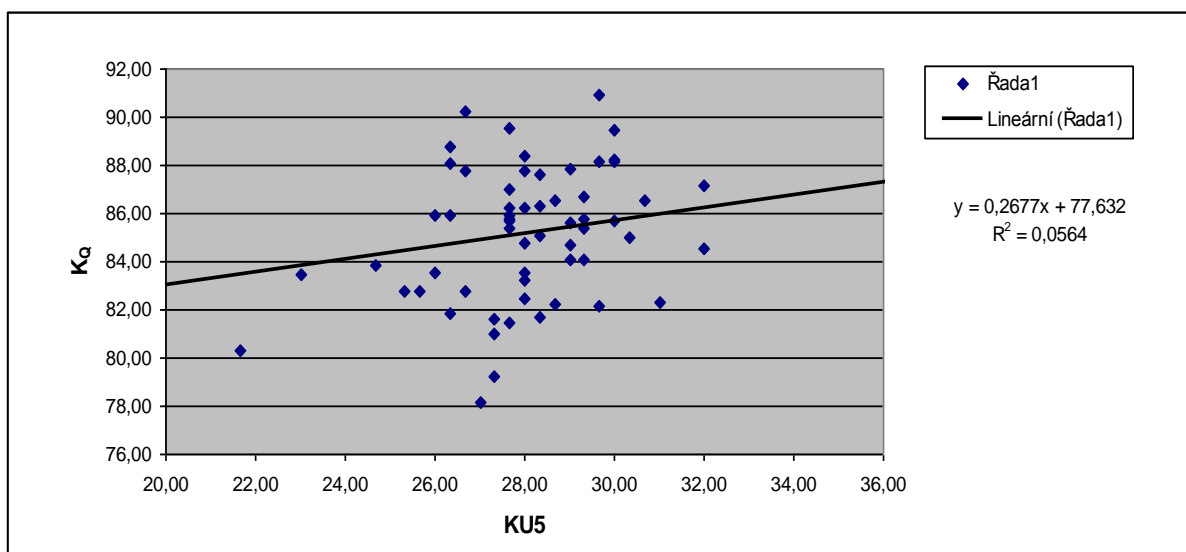
Obr.č.7: Závislost průměrné hodnoty K_Q na R_m celého souboru



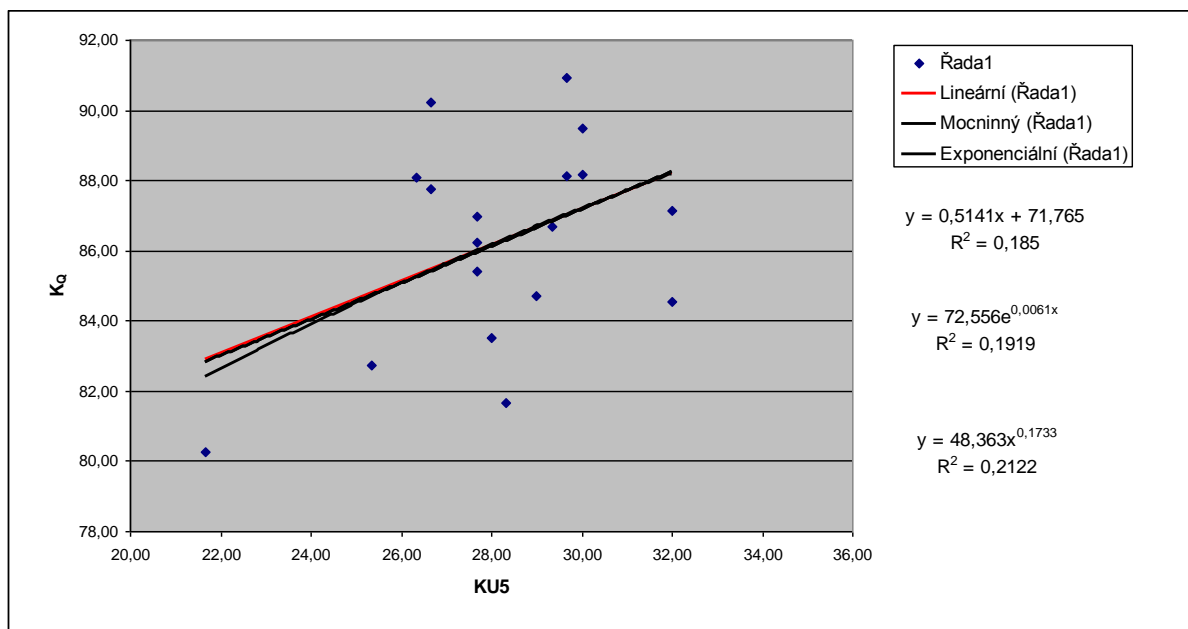
Obr.č. 8: Závislost průměrné hodnoty K_Q na R_m homogenního souboru



Obr.č. 9 Závislost průměrné hodnoty K_Q na $KU5$ celého souboru



Obr.č.10: Závislost průměrné hodnoty K_Q na $KU5$ homogenního souboru



4. Závěr:

Na základě četných pozorování bylo zjištěno, že u materiálů železničních kol existují slabé závislosti mezi výsledky standardních mechanických zkoušek a hodnotou lomové houževnatosti vyjádřenou pomocí K_Q . Nevýrazné závislosti však není možno vzhledem k nízké hodnotě koeficientu spolehlivosti využít k vytvoření regresní funkcí použitelných pro spolehlivou predikci výsledků. Po filtraci vstupních hodnot na data získaná z prokazatelně silně homogenních výrobků a data z výrobků s vyhovujícími výsledky, avšak s nedostatečnou homogenitou vlastností v celém zkoušeném objemu, významně roste koeficient spolehlivosti nalezených regresních funkcí.

Tím se rovněž otevírá cesta pro další výzkum v oblasti predikce K_Q . Jsme přesvědčení, že postupným zvyšováním velikosti statistického souboru dat pocházejících ze silně homogenních kol při současné snaze o další zvyšování kvality výrobků, budeme nacházet silnější závislosti.

Nicméně i ze současných měření je zřejmé, že nejsilnější závislost je u materiálů jakosti ER7T na charakteristikách pocházejících z tahové zkoušky, tj. zejména meze kluzu a meze pevnosti. Významně nižší závislost se projevuje u porovnávání s hodnotami vrubové houževnatosti vzorků s vrubem U5 při normální teplotě.

V dalších krocích uvažujeme provést další porovnávání K_Q :

- s chemickým složením materiálu, zejména pak se zaměřením na obsah stopových prvků S, P, Sn
- standardními metalografickými charakteristikami (velikost zrna, procento fází)
- metalografickými charakteristikami řešenými metodou obrazové analýzy

Daný postup umožní vytvoření výsledné empirické funkce, kde budou váhově rozdílně zohledněny výsledky destruktivních mechanických, metalografických a chemických zkoušek, přičemž výrazně stoupne hodnota koeficientu spolehlivosti regresní funkce.

Tímto způsobem rovněž dosáhneme vytčeného cíle, tj. vytvoření použitelného nástroje pro rychlou a spolehlivou predikci výsledku K_Q , který může být rovněž využit při optimalizaci plánování výroby ve společnosti BONATRANS a. s.

Použité informační zdroje:

- 1) ČSN EN 13262 – Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Kola – Požadavky na výrobek.
- 2) Pokyn technického ředitele č. 4. Útvar technického ředitele, 2004. Bohumín: Bonatrans.
- 3) Technický výkres D11-4-01052a.
- 4) Formulář 60-835 Základní údaje o vzorku CT30.