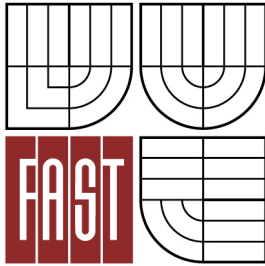


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

POKROČILÉ VYHODNOCENÍ VYBRANÝCH LOMOVÝCH
TESTŮ TĚLES Z BETONŮ S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ
ADVANCED EVALUATION OF SELECTED FRACTURE TESTS OF FIBRE
REINFORCEMENT CONCRETE SPECIMENS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ MAJDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ZBYNĚK KERŠNER, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Majda
Název	Pokročilé vyhodnocení vybraných lomových testů těles z betonů s rozptýlenou výztuží
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- KARIHALOO, B. L. Fracture mechanics and structural concrete. New York: Longman Scientific & Technical, 1995.
- KUMAR, S.; BARAI, S. V. Concrete fracture models and applications. Heidelberg: Springer, 2011.
- KERŠNER, Z.; PUKL, R; NOVÁK, D. Nelineární lomová mechanika pro modelování prvků a konstrukcí z kvazikřehkých materiálů. Studijní opora předmětu Vybrané stati z nosných konstrukcí budov, modul BL13-MO3, FAST VUT v Brně, Brno, 2006.
- VESELÝ, V. The role of process zone in quasi-brittle fracture. Zkrácená verze habilitační práce. Vutium, Brno, 2015.
- ČSN P 73 2452 Vláknobeton – Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- ČSN EN 14651 Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost), Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.

Další podklady podle pokynů vedoucího práce.

Zásady pro vypracování

Zásady pro vypracování:

Studium doporučených podkladů a souvisejících materiálů, průzkum webových zdrojů, orientace v zadané problematice vyhodnocování vybraných lomových testů těles z betonů s rozptýlenou výztuží, lomové parametry, aplikace modelu efektivní trhliny a modelu Dvojí-K, vyhodnocení vybraných lomových experimentů, diskuse výsledků, závěrečné shrnutí.

Vedoucí-specialistka: Ing. Hana Šimonová, Ph.D.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc.
vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Úkolem této práce bylo vyhodnocení rozsáhlé série vybraných lomových zkoušek tříbodovým ohybem těles z drátkobetonu stáří 7, 28 a 126 dní. V první fázi byla naměřená data upravena programem GTDiPS. Dále proběhla aproximace předpokládaného příspěvku drátků v zatěžovacím diagramu pomocí polynomické regresní funkce. Odečtením aproximované části od celého diagramu byl získán vliv matrice. Použitím programu StiCrack byly získány hodnoty modulu pružnosti, lomové houževnatosti a lomové energie, a to z původního diagramu, i z diagramu vystihujícího chování matrice. Všechny výsledky jsou přehledně vyhodnoceny v tabulkách.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lomová mechanika, drátkobetonbeton, lomový test, trhлина, program GTDiPS, program StiCrack, zatěžovací diagram síla–posun

ABSTRACT

The goal of this thesis was evaluation of extensive series of selected three point bending tests on fibre reinforced concrete specimens of ages 7, 28 and 126 days. First the measured data were adjusted by GTDiPS software. Then the assumed contribution of fibres in load–deflection diagram was approximated by regressive function. Contribution of matrix was calculated by deducting the approximated part from full diagram. Using StiCrack software the Young modulus, fracture toughness and fracture energy were calculated for both original and approximated diagram. All results were evaluated and tabled.

KEYWORDS

Fracture machanics, fibre reinforced concrete, fracture test, crack, GTDiPS software, StiCrack software, load–deflection diagram

Pokročilé vyhodnocení vybraných lomových testů těles z betonů s rozptýlenou výztuží: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, 2016. 84 s. Vedoucí práce byl prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., vedoucí-specialistka Ing. Hana Šimonová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

Brno

.....

Tomáš Majda
(podpis autora)

Poděkování:

Mé největší poděkování patří panu prof. Ing. Zbyňku Keršnerovi, CSc. Ing. za jeho nezměrnou trpělivost a ochotu poradit s jakýmkoliv problémem. Dále děkuji své vedoucí-specialistce Ing. Haně Šimonové, Ph.D. Děkuji také tvůrcům programu GTDiPS doc. Ing. Petru Frantíkovi, Ph.D. a Ing. Janu Maškovi.

V neposlední řadě děkuji své rodině, která mě psychicky podporovala v průběhu celého studia.

Práce vznikla v rámci řešení projektu GA15-07210S – Nelineární lom konstrukčních materiálů – zkoumání projevů disipace energie v zóně porušení pomocí pokročilých experimentů a modelování, podporovaném Grantovou agenturou České republiky.

OBSAH

Úvod	14
1 Použité modely	15
1.1 Model efektivní trhliny	15
1.2 Model Dvojí-K	16
2 Lomové Testy	18
2.1 Zatěžovací zkouška trojbodovým ohybem	18
2.2 Zkušební těleso	19
3 Lomové Parametry	20
3.1 Lomová houževnatost K_c	20
3.2 Modul pružnosti E	21
3.3 Lomová práce W_F a lomová energie G_F	22
4 Úprava dat lomových testů	24
4.1 Úpravy pomocí Softwaru GTDiPS	24
4.2 Příprava dat k vyhodnocení	26
5 StiCrack	27
6 Výsledky	28
7 Závěr	29
Literatura	30
Seznam symbolů, veličin a zkratk	31
Seznam příloh	33
A Výstupy programu StiCrack	34
A.1 Sada III_I_7d	34
A.2 Sada III_I_28d	38
A.3 Sada III_I_28d_W	45
A.4 Sada III_I_126d	52
A.5 Sada III_II_7d	59
A.6 Sada III_II_126d	66

B	Tabulky výsledků	73
B.1	Sada III_I_7d	73
B.2	Sada III_I_28d	75
B.3	Sada III_I_28d_W	77
B.4	Sada III_I_126d	79
B.5	Sada III_II_7d	81
B.6	Sada III_II_126d	83

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Zatěžovací diagram trámce se zářezem	15
1.2	Grafické znázornění významných bodů na křivce $P-CMOD$ nebo $P-\delta$	17
2.1	Schéma zatěžování trámce s koncentrátorem napětí	18
2.2	Zkušební těleso s zakótovanými základními rozměry	19
3.1	Módy prostorového namáhání tělesa s trhlinou a jejich značení	21
4.1	Vzorový formát textového dokumentu	24
4.2	Výchozí okno aplikace GTDiPS	25
4.3	Příspěvek matrice v zatěžovacím diagramu drátkobetonu	26
5.1	Úvodní stránka programu StiCrack	27
A.1	Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_4	34
A.2	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_4	34
A.3	Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_5	35
A.4	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_5	35
A.5	Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_6	36
A.6	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_6	36
A.7	Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_7	37
A.8	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_7	37
A.9	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_1	38
A.10	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_1	38
A.11	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_2	39
A.12	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_2	39
A.13	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_3	40
A.14	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_3	40
A.15	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_4	41
A.16	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_4	41
A.17	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_5	42
A.18	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_5	42
A.19	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_6	43
A.20	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_6	43
A.21	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_7	44
A.22	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_7	44
A.23	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_1	45
A.24	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_1	45
A.25	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_2	46
A.26	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_	46
A.27	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_3	47
A.28	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_3	47

A.29	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_4	48
A.30	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_4	48
A.31	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_5	49
A.32	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_5	49
A.33	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_6	50
A.34	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_6	50
A.35	Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_7	51
A.36	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_7	51
A.37	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_1	52
A.38	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_1	52
A.39	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_2	53
A.40	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_2	53
A.41	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_3	54
A.42	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_3	54
A.43	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_4	55
A.44	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_4	55
A.45	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_5	56
A.46	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_5	56
A.47	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_6	57
A.48	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_6	57
A.49	Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_7	58
A.50	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_7	58
A.51	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_1	59
A.52	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_1	59
A.53	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_2	60
A.54	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_2	60
A.55	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_3	61
A.56	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_3	61
A.57	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_4	62
A.58	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_4	62
A.59	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_5	63
A.60	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_5	63
A.61	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_6	64
A.62	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_6	64
A.63	Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_7	65
A.64	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_7	65
A.65	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_1	66
A.66	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_1	66
A.67	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_2	67

A.68	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_2	67
A.69	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_3	68
A.70	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_3	68
A.71	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_4	69
A.72	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_4	69
A.73	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_5	70
A.74	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_5	70
A.75	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_6	71
A.76	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_6	71
A.77	Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_7	72
A.78	Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_7	72

SEZNAM TABULEK

B.1	Výsledky lomových parametrů sady III_I_7d	73
B.2	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_7d	74
B.3	Výsledky lomových parametrů sady III_I_28d	75
B.4	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_28d	76
B.5	Výsledky lomových parametrů sady III_I_28d_W	77
B.6	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_28d_W	78
B.7	Výsledky lomových parametrů sady III_I_126d	79
B.8	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_126d	80
B.9	Výsledky lomových parametrů sady III_II_7d	81
B.10	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_II_7d	82
B.11	Výsledky lomových parametrů sady III_II_126d	83
B.12	Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_II_126d	84

ÚVOD

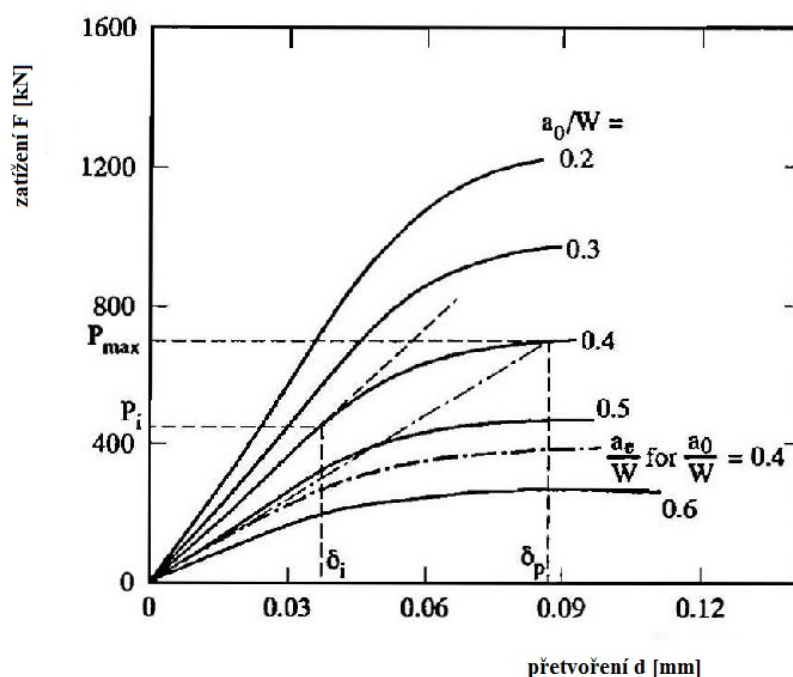
Tato bakalářská práce se zabývá pokročilým vyhodnocením vybraných lomových testů na tělesech z betonů s rozptýlenou výztuží. Přidělené série testů se liší stářím trámců v době zkoušení, byly staré 7, 28 nebo 126 dní. Jedna sada byla po dobu zrání uložena ve vodě.

Prvním úkolem této práce bude upravit data získaná ze zkoušek, tak aby byly omezeny nedostatky vzniklé při zatěžování, např. dosedáním trámce do podpor. Dále pak pokusit se separovat vliv matrice v zatěžovacím diagramu, a posléze vypočítat lomové parametry. Posledním krokem bude porovnání výsledků.

1 POUŽITÉ MODELY

1.1 Model efektivní trhliny

Model efektivní trhliny pro lom betonu byl popsán v Nallathambi and Karihaloo (1986a) Karihaloo (1995). Délka efektivní trhliny a_e je počítána ze sečnové tuhosti betonového vzorku. Sečna prochází maximálním zatížením P_{max} . Pro jednodušší pochopení tohoto modelu bude použit Obr. 1.1, na kterém jsou zobrazeny zatěžovací diagramy betonových trámců s různou hloubkou zářezu a_0 . Zaměříme se na diagram trámce s poměrem zářezu k výšce trámce $a_0/W = 0,4$.



Obr. 1.1: Typický diagram síla–přetvoření trojbodově ohýbaných trámců s různými poměry a_0/W . (Karihaloo, 1995)

Pro lineární část diagramu platí, že tuhost je úměrná modulu pružnosti E , který může být vypočítán z kterékoliv odpovídající si dvojice zatížení a přetvoření P_i a δ_i . Maximální síla působící na trámec je v grafu znázorněna symbolem P_{max} a k ní odpovídající přetvoření δ_p . Sklon úsečky spojující počátek a bod (P_{max}, δ_p) odpovídá takzvanému sečnovému modulu trámce, pro který platí $a_0/W = 0,4$. Tato úsečka může být také brána jako tečna lineární části trámce stejných rozměrů, ale

s větší trhlinou než je a_0 . Nazýváme ji efektivní trhlina a_e . Z obrázku je vidět, že a_e/W odpovídající hodnotě $a_0/W = 0,4$ se pohybuje v intervalu $(0,5; 0,6)$.

V betonové konstrukci nastane lom, když faktor intenzity napětí dosáhne své kritické hodnoty K_{Ic}^e . Velikost trhliny dosahuje hodnoty a_e .

$$K_I = K_{Ic}^e; a = a_e \quad (1.1)$$

Oba parametry, a_e a jemu odpovídající K_{Ic}^e , do určité míry závisejí na geometrii tělesa a také na nastavení a způsobu zatěžování. Je známo, že a_e , při rostoucí velikosti zatěžovaného vzorku, klesá. Pro vzorek „nekonečně“ velký se hodnota a_e blíží a_0 , zatímco K_{Ic}^e se přibližuje hodnotě K_{Ic} pro lineárně elastickou lomovou mechaniku (LELM).

Nallathambi & Karihaloo (1986a) navrhli regresní vyjádření vztahu a_e k a_0 a geometrických proměnných, které se opíralo o rozsáhlé série testů těles zatěžovací zkouškou trojbodovým ohybem.

$$\frac{a_e}{W} = \gamma_1 \left(\frac{(\sigma_N)_u}{E} \right)^{\gamma_2} \left(\frac{a_0}{W} \right)^{\gamma_3} \left(1 + \frac{G}{W} \right)^{\gamma_4}, \quad (1.2)$$

kde $(\sigma_N)_u = 6M_{\max}/(BW^2)$, $M_{\max} = (P_{\max} + qS/2)S/4$, a $\gamma_1 = 0,088 \pm 0,004$, $\gamma_2 = -0,208 \pm 0,010$, $\gamma_3 = 0,451 \pm 0,109$. Tento regresní vztah je aplikovatelný pouze na geometrii trojbodového ohybu, a to jen v rozmezí těchto proměnných: $g = 2-20$ mm, $a_0/W = 0,1-0,6$, $W = 100-400$ mm.

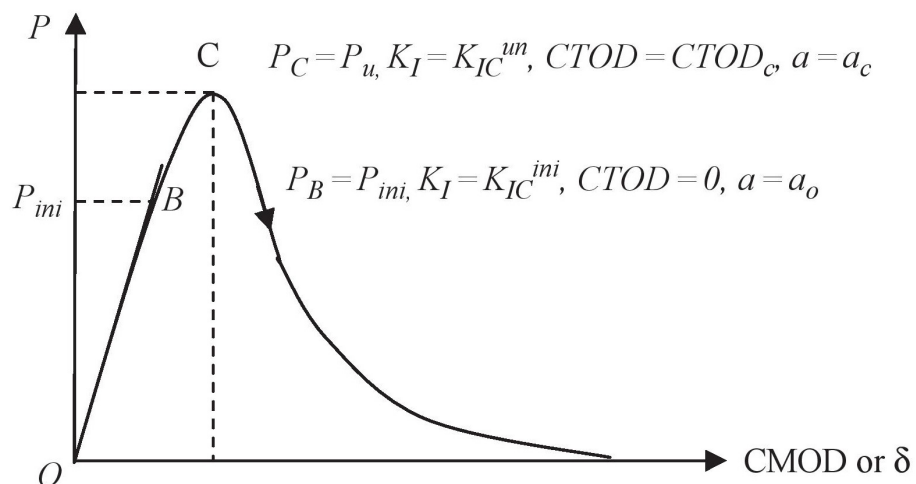
Model efektivní trhliny nedokáže odhadnout chování po dosažení maximálního zatížení.

1.2 Model Dvojí-K

Podkladem pro lomové modely často bývají zkoušky trojbodovým ohybem na trámčích se zářezem. Je tomu tak i u modelu dvojí-K. Na základě rozsáhlých testů právě trojbodovým ohybem a také zkouškou v excentrickém tahu prezentovali Xu & Reinhardt (1999a) tři fáze šíření trhliny v betonu: vznik trhliny, stabilní šíření trhliny a nestabilní šíření trhliny.

Od modelů vycházejících z LELM se tento model liší tím, že kromě nestabilního šíření trhliny dokáže popsat také úroveň počátku stabilního šíření trhliny (úroveň iniciační). Mechanismus vzniku trhliny ukazuje Obr.1.2

Na Obr. 1.2 můžeme vidět typický diagram $P-CMOD$ nebo $P-\delta$ získaný zatěžováním módem I betonového vzorku. V oblasti mezi body B a C je možné pozorovat odchylku tangenty od tangenty původní (oblast OB). Po dosažení zatížení odpovídající bodu B, vzniká v matici trhlina a začíná se stabilně šířit. Až do bodu



Obr. 1.2: Grafické znázornění významných bodů na křivce P - $CMOD$ nebo P - δ (Kumar – Barai, 2011)

B se vzorek chová lineárně-elasticky a délka původní trhliny nezačne růst. S tímto předpokladem zavádíme pojem iniciační houževnatost K_{IC}^{ini} materiálu. Při dosažení maximálního zatížení, délka trhliny i $CTOD$ (otevření kořene trhliny) dosáhnou kritické hodnoty.

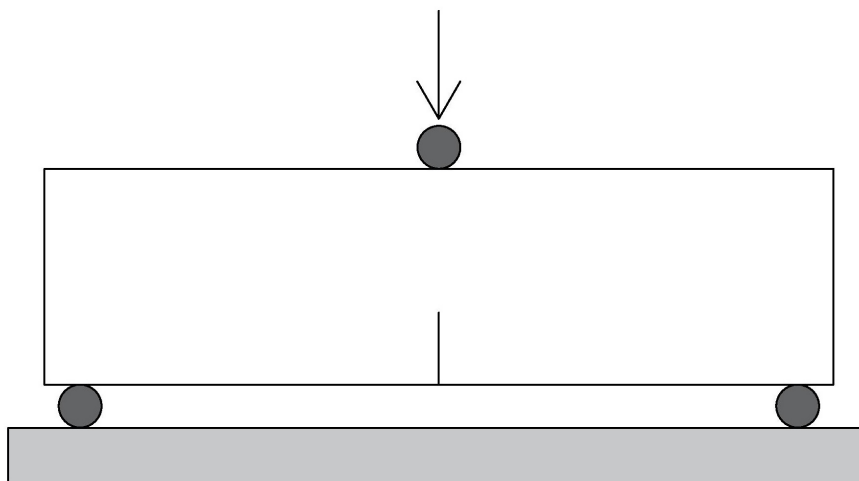
2 LOMOVÉ TESTY

V poslední době bylo představeno mnoho nových testů pro určování lomových parametrů materiálů na cementové bázi. Nejstarší je zkouška tahová, pomocí které se dají určit všechny lomové parametry. Při této zkoušce, ale dochází ke komplikacím způsobeným přirozenou heterogenitou cementových kompozitů, a proto ji nepovažujeme za standardní. Jako příklad uvedme ještě tzn. Wedge-Splitting-Test, který se používá stále častěji.

2.1 Zatěžovací zkouška trojbodovým ohybem

Z hlediska tahového chování betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží a stanovení lomových parametrů, uvádí organizace RILEM (Mezinárodní sdružení laboratoří a expertů na stavební materiály, systémy a konstrukce) jako vhodnou zkušební metodu zkoušku trojbodovým ohybem na tělesech se zářezem.

Podpory mají tvar válečků o průměru 30 mm, které mohou rotovat. Válečky musí být během zkoušky umístěny na ocelové desce, tímto se zamezí působení horizontálních sil na zkoušené těleso. Zatížení se vnáší skrz váleček o průměru 30 mm. Jeden ze tří kontaktů (zatížení a podpory) musí být zafixován. Přetvoření se měří z obou stran vzorku. Minimální přesnost zařízení je stanovena pro zatížení na 0,1 kN a pro přetvoření na 0,01 mm.



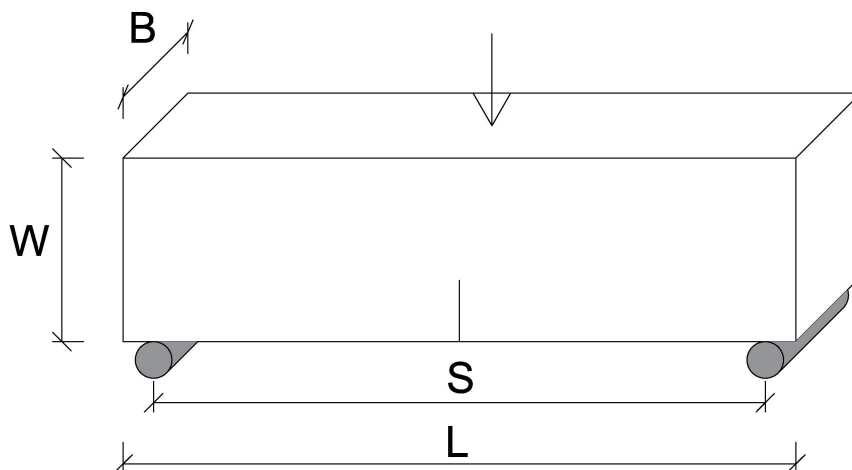
Obr. 2.1: Schéma zatěžování trávce s koncentrátorem napětí trojbodovým ohybem

Je vhodné použít zařízení, které je schopno konstantní rychlostí zvyšovat přetvoření (δ). Zařízené, které je schopné zvyšovat konstantně pouze zatížení (F), nezachytí

část zatěžovacího diagramu po dosažení maximálního zatížení. Všechny zkoušky vyhodnocovaných těles byly nastaveny tak, aby byla v momentě dosažení přetvoření (*CMOD*) 4 mm zkouška ukončena.

2.2 Zkušební těleso

Standardní zkušební těleso je trámec o čtvercovém průřezu 150×150 mm a minimální délce 550 mm. V polovině rozpětí je pomocí pily s diamantovým kotoučem vyřezán zářez o hloubce $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ a o tloušťce 2–3 mm. Rozpětí při zatěžování činí 500 mm. Toto těleso není určeno pro zkoušení betonu s vlákny delšími než 60 mm ani betonu s frakcí kameniva větší než 32 mm.



Obr. 2.2: Zkušební těleso s zakótovanými základními rozměry

V rámci této práce byly vyhodnoceny testy trámců z šesti sad. Sady se lišily dobou zrání betonu a prostředím zrání.

Většina těles měla rozměry standardního zkušebního tělesa ($150 \times 150 \times 550$ mm), jen hloubka zářezu byla dvojnásobná (50 mm). Hmotnost těchto těles se pohybovala kolem 31 kg. Dvě sady zrály 7 dní, dvě 28 dní a dvě 126 dní. Jedna z 28-denních sad byla po dobu zrání uložena ve vodě.

3 LOMOVÉ PARAMETRY

3.1 Lomová houževnatost K_c

V roce 1920 se touto veličinou jako první začal seriózně zabývat Griffith. Uvědomil si, že vlivem nedokonalosti skutečného materiálu způsobené přítomností trhlin, je jejich tahová pevnost výrazně nižší oproti hodnotě, která by se dala očekávat. Ve skutečnosti toto zmenšení nezpůsobují pouze trhliny, ale také např. póry, nečistoty a dislokace. Během namáhání se pak objevují vysoké koncentrace napětí ve špičkách trhlin, ty jsou navíc doprovázeny značnými gradienty napětí. Existence i jen malé trhliny znamená výrazné snížení odolnosti materiálu.

Griffith zkoumal skleněná vlákna o různých průměrech (od řádů několika μm až přesahující 1 mm). Zjistil, že pevnosti vláken malých průměrů byly až $20\times$ větší než u vláken větších průměrů. Při hledání příčiny tohoto jevu si uvědomil, že u menších vláken je poměr povrchu vláken k objemu větší. Stejně jako u kapalin musí tedy i u pevných látek existovat povrchové napětí, které způsobuje u vláken malého průřezu zvýšení pevnosti.

„Griffith odvodil vztah, který ukazuje vlastnost materiálu v tom smyslu, že pro přímou trhlínu délky $2a$ v rovině lze vyjádřit velikost kritické napětí σ_{cr} , kdy dojde k jejímu růstu.“ Stibor (2004)

$$\sigma\sqrt{a\pi} = \sqrt{2E'\gamma} = \text{konst.} \quad (3.1)$$

Veličina γ je měrná povrchová energie, vyjadřuje práci potřebnou k vytvoření jednotkového povrchu trhliny. Modul pružnosti závisí na způsobu namáhání:

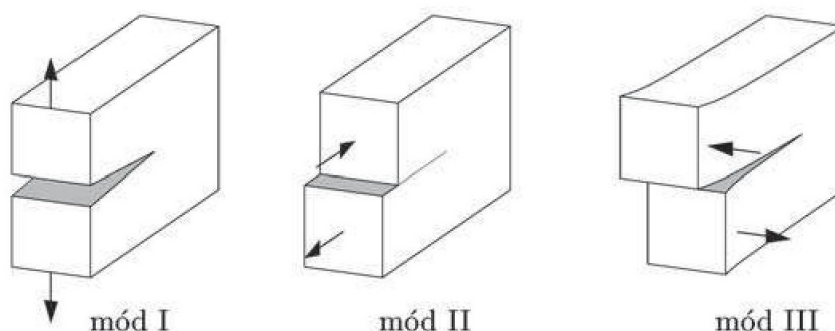
- $E' = E(1 - \nu^2)$ – rovinná deformace,
- $E' = E$ – rovinná napjatost.

Obecně můžeme říci, že podmínky v blízkosti čela trhliny jsou trojrozměrné. Při výpočtech se užívá představa dvojrozměrná jako zjednodušení reálné situace. Největší napětí působí ve směru namáhání.

Jestliže je plastická zóna mnohem menší než tloušťka B , potom vznikne uvnitř materiálu rovinná deformace. Pokud je plastická zóna malá vzhledem k tloušťce B , jsou uvnitř tělesa na rozhraní plastické a pružné deformace podmínky blízké rovinné deformace.

Vztah Stibor (3.1) popisuje stav, při kterém se trhlina začíná nekontrolovatelně šířit. Je tomu tak, protože od tohoto bodu stačí trhlíně k rozšiřování stále menší napětí. Při měkkém zatěžování roste hnací síla trhliny s rostoucí délkou trhliny, při zatěžování tvrdém s rostoucí délkou trhliny hnací síla klesá. Proto rozlišujeme růst

trhliny stabilní (trhlina se šíří jen s rostoucí zatěžovací silou) a nestabilní (trhlina se šíří samovolně).



Obr. 3.1: Módy prostorového namáhání tělesa s trhlinou a jejich značení (Karihaloo, 1995)

Pro pohybující se trhlinu je člen na pravé straně vztahu (3.1) parametr náležící materiálu. Tento parametr nazýváme kritický faktor intenzity napětí neboli lomová houževnatost (K_c). Irwin přepsal vztah do této podoby:

$$K_c = \sigma\sqrt{a\pi} \quad \text{resp.} \quad K = \sigma\sqrt{a\pi}, \quad (3.2)$$

kde parametr K , značí faktor intenzity napětí v bezprostřední blízkosti špičky trhliny. Trhlina se začíná šířit, když dosáhne faktor intenzity napětí K kritické hodnoty K_c .

Pro předpoklad malé plastické zóny platí, že pro stejnou hodnotu K zatěžující konstrukci a zkušební těleso jsou podmínky v čele trhliny stejné pro obě konfigurace. K lomu dochází u obou konfigurací při stejné hodnotě K_c .

S použitím lineární lomové mechaniky lze velmi jednoduše stanovit hodnotu lomové houževnatosti pomocí vztahu

$$K_{Ic} = \frac{6M_{\max}}{BW^2}Y\sqrt{a}. \quad (3.3)$$

B , W a a jsou rozměry zobrazené na Obr.2.2, M je ohybový moment od zatížení a vlastní tíhy. Zlomek $6M_{\max}/BW^2$ odpovídá tahovému napětí σ_{\max} v krajních vláknech ze vztahu (3.2). Výraz $Y\sqrt{a}$ vyjadřuje oslabení průřezu v místě zářezu.

3.2 Modul pružnosti E

Modul pružnosti nespadá do kategorie lomových parametrů, je však z lomových zkoušek snadno stanovitelný. Znalost této veličiny je posléze využita pro určování tzv. efektivních lomových parametrů.

„Princip je zřejmý: známe-li předpis, který vystihuje (v závislosti na geometrii a zatížení) posuv měřeného místa kdekoli v vzorku, můžeme jeho přepsáním odvodit modul pružnosti.“ Stibor (2004)

Vztah pro výpočet modulu pružnosti v závislosti na rozměrech tělesa, působícím zatížením a průhybu d_i uprostřed tělesa má následující tvar:

$$E = \frac{P_i}{4Bd_i} \left(\frac{S}{W}\right)^3 \left[1 + \frac{5qS}{8P_i} + \left(\frac{W}{S}\right)^2 \left(2,70 + 1,35 \frac{qS}{P_i} \right) - 0,84 \left(\frac{W^3}{S}\right)^3 \right] + \frac{9}{2} \frac{P_i}{2Bd_i} \left(1 + \frac{qS}{2P_i} \right) \left(\frac{S}{W}\right)^2 F_1(\alpha), \quad (3.4)$$

q je vlastní tíha v [N/m] a

$$F_1(\alpha) = \int_0^\alpha xY^2(x)dx, \quad (3.5)$$

$$\alpha = \frac{a}{W} \quad (3.6)$$

$Y(x)$ je funkce geometrie, P_i a d_i odkazují na libovolný bod vzestupné části zatěžovacího diagramu. Ve vztahu je zabudován Poissonův součinitel o hodnotě 0,2. První část vztahu zachycuje průhyb nosník při zatěžování trojbodovým ohybem a je odvozena z nosníkové teorie. Druhá část pak přidává vliv zářezu, odvození vychází z Castiglianova principu.

3.3 Lomová práce W_F a lomová energie G_F

Pokud je vzorek zatěžován malým přírůstkem deformace a veškerá práce lisu je přetvářena ve vzorku a čerpá se k vytvoření lomu, je tato práce $W_F =$ integrál rovna ploše pod zatěžovacím diagramem. Lomová energie se definuje jako množství energie pojaté tělesem do úplného porušení.

G_F je práce potřebná k vytvoření trhliny na jednotkové ploše vzorku A_{lig} :

$$G_F = \frac{W_F}{A_{lig}} \quad (3.7)$$

Určení hodnoty lomové energie je vhodné, pokud při výpočtu konstrukce uvažujeme s nelineárním změkčením, např. u metody konečných prvků. Je také možné určit pomocí lomové energie charakteristickou délku l_{ch} , se kterou lze uvažovat jako s hrubým odhadem délky procesní zóny l_p .

Velký vliv na hodnotu lomové energie má maximální velikost zrna kameniva. Tělesa s větší maximální frakcí dosahují vyšších hodnot lomové energie. Naopak

tělesa s menší frakcí se více blíží křehkému chování a také práce potřebná k porušení tělesa je menší.

Tvar zrn je další faktor ovlivňující hodnotu lomové energie. K lomu snáze dochází u zrn oválných nebo kulatých, která nekladou lomu velký odpor. Zrna s nepravidelným tvarem budou lomu odolávat lépe.

Definici lomové energie G_F a lomové práce W_F je třeba uvažovat jen pro ideální případ. Při zpracování experimentů se potýkáme s mnohými nepříjemnostmi, a proto hodnoty naměřené $W_{F,\text{meas}}$ a $G_{F,\text{meas}}$ neodpovídají hodnotám reálným.

$$G_{F,\text{meas}} = \frac{W_{F,\text{meas}}}{A_{\text{lig}}} = \frac{W_{F,\text{meas}}}{B(W - a)}, \quad (3.8)$$

kde $W_{F,\text{meas}}$ je přetvárná práce odpovídající ploše pod křivkou zatěžovacího diagramu; B a W jsou rozměry zatěžovaného trámce a a je původní hloubka zářezu.

4 ÚPRAVA DAT LOMOVÝCH TESTŮ

Data přímo získaná z lomových zkoušek nejsou mnohdy připravena pro další vyhodnocování. „Vlivem počátečních efektů, mezi které patří například dosedání vzorku na podpory, vzniká na zatěžovacím diagramu část, kterou je žádoucí odstranit a daný diagram poté posunout tak, aby jeho extrapolace procházela počátkem souřadného systému.“ Frantík – Mašek (2014) Pokud by k těmto úpravám nedošlo, vyhodnocené lomové parametry by neodpovídaly realitě. Zejména u modulu pružnosti dělá i jen malá odchylka tuhosti značný rozdíl v jeho hodnotě.

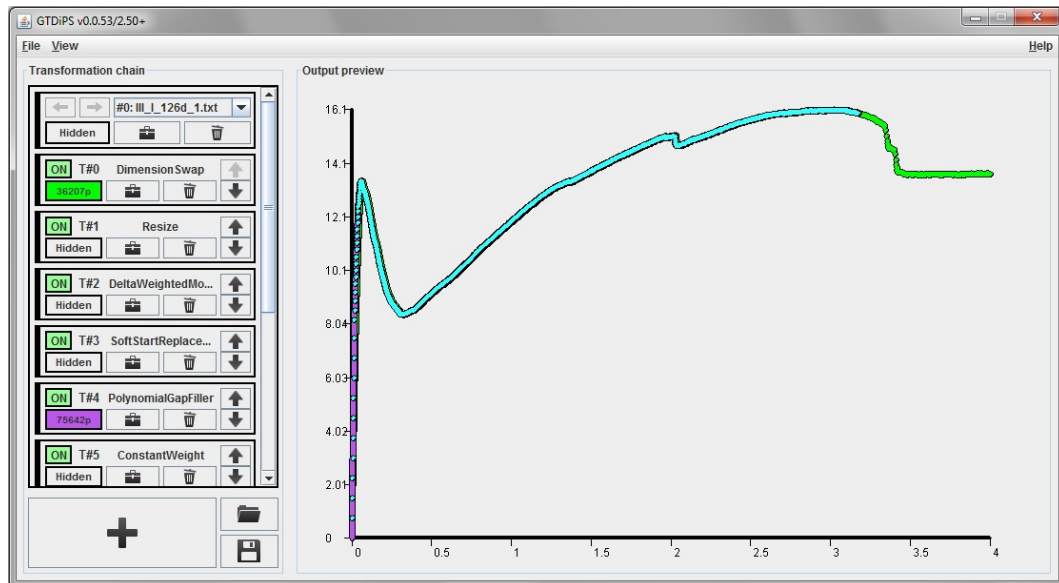
4.1 Úpravy pomocí Softwaru GTDiPS

Pro tyto účely byl pro úpravu dat použit software GTDiPS (General Transformation of Discrete Point Sequence) Frantík – Mašek (2014), vytvořený dvěma vědeckými pracovníky na Ústavu stavební mechaniky při Fakultě stavební VUT v Brně, doc. Ing. Petrem Frantíkem, Ph.D. a Ing. Janem Maškem. Tato aplikace nabízí velkou škálu transformací, kterými lze upravovat řetězce bodů.

Do aplikace se načte textový dokument, který je posléze upraven sekvencí různých transformací. U většiny transformací je nutné vyplnit parametry, které určují výsledek transformace. Tyto parametry mohou být kdykoliv změněny, změna se projeví nejen na dané transformaci, ale ovlivní i všechny transformace následující. Každou transformací vzniká nová posloupnost bodů, která je vyobrazena v aplikaci na dvouosém souřadném systému. Jednotlivé transformace je možné „skrýt“ (jejich efekt v sekvenci transformací je platný, body vzniklé touto transformací pouze nevidíme), nebo vypnout (transformace se úplně vyřadí z řetězce). Po provedení požadovaných úprav, se výsledná posloupnost jednoduše exportuje zpět do textového dokumentu.

0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2.0000E-01	1.0317E+00	1.5000E-03
4.0000E-01	2.0628E+00	3.0000E-03
6.0000E-01	3.0947E+00	4.5000E-03
8.0000E-01	3.9238E+00	6.0000E-03
1.0000E+00	4.4466E+00	7.5000E-03
1.2000E+00	4.9474E+00	9.0000E-03
1.4000E+00	5.4461E+00	1.0500E-02
1.6000E+00	5.9403E+00	1.2000E-02
1.8000E+00	6.4216E+00	1.3500E-02
2.0000E+00	6.8967E+00	1.5000E-02
2.2000E+00	7.3644E+00	1.6500E-02
2.4000E+00	7.8318E+00	1.8000E-02
2.6000E+00	8.2865E+00	1.9500E-02

Obr. 4.1: Vzorový formát textového dokumentu, sloupce zleva jsou čas t [s], síla F [kN] a posun d [mm]



Obr. 4.2: Výchozí okno aplikace GTDiPS, vlevo jsou přehledně seřazeny původní data (nahore) a seznam použitých transformací, vpravo jsou pak graficky vyobrazeny viditelné transformace

Použité funkce

- Dimension Swap – Zamění dvě zadané dimenze.
- Resize – Umožňuje změnit délku posloupnosti přidáním nebo ubráním bodů na obou koncích.
- Delta Weighted Moving Average – Vypočítá vážený klouzavý průměr všech dimenzí (z daného počtu po sobě jdoucích bodů). Váhová funkce má tvar rovnoramenného trojúhelníku s vrcholem uprostřed periody.
- Soft Start Replacement – Odstraní počáteční část posloupnosti končící bodem, ve kterém je maximální derivace. Poté aproximuje počáteční část sekvence přímkou. Tato přímka je použita k extrapolaci pro nalezení průsečíku $x_0=0$. Nakonec posune posloupnost tak, aby $x_1=0$. Tj. aby extrapolovaná posloupnost začínala v počátku.
- Polynomial Gap Filler – Hledá definované mezery v posloupnosti bodů. V případě nalezení mezery provede aproximaci polynomem a doplní nové body ležící na aproximačním polynomu.
- Constant Weight – Sníží počet bodů vytvořením aritmetického průměru souřadnic daného počtu po sobě jdoucích bodů.
- Equidistant Spline Interpolar – Vytváří novou ekvidistantní posloupnost bodů ležících na n dimenzionální parametrické kubické křivce proložené původní posloupností.
- Negative Value Trim – Maže body se zápornou hodnotou souřadnice x_1

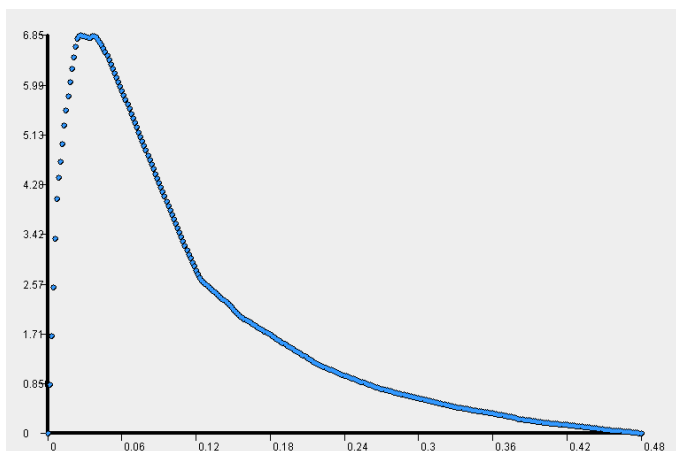
4.2 Příprava dat k vyhodnocení

Po vyhlazení grafů je ještě potřeba připravit textové soubory pro program (StiCrack), který spočítá jejich lomové parametry. Jmenovitě se jedná o modul pružnosti E , lomovou houževnatost K_{Ic} a lomovou energii G_F .

Pro příklad uveďme, že StiCrack vyhodnocuje modul pružnosti pomocí dvou bodů, které odpovídají 15 % a 65 % maximální síly P_{max} . Při použití celého zatěžovacího diagramu u vyztužených betonů je možné, že by bod odpovídající 65% hodnotě P_{max} neležel na lineární vzestupné části diagramu a naměřená hodnota E by byla bezcenná.

Proto bylo potřeba separovat data lineární části grafu pro výpočet E a K_{Ic} . Pro výpočet G_F byl použit původní diagram. K úpravám byl použit software GTDiPS a Microsoft Excel 2010.

Jako poslední přípravnou fází bylo potřeba si připravit zatěžovací diagramy příspěvku matrice. V první řadě se izolovala část diagramu po vzniku trhliny, kdy zatížení přenáší drátky. Tato část se posléze pomocí excelu aproximovala polynomicou regresní křivkou. V posledním kroku se od hodnot zatížení bodů původního diagramu odečetly hodnoty určené funkcí regresní křivky odpovídajícího posunu. Výsledkem je diagram síla–posun příspěvku matrice.



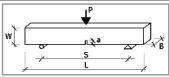
Obr. 4.3: Příspěvek matrice v zatěžovacím diagramu drátkobetonu

5 STICRACK

K vyhodnocení dat byl použit program StiCrack, který vytvořil Ing. Miroslav Stibor, Ph.D. Program funguje ve formě internetových stránek a je tedy volně přístupný.

Po zadání internetového odkazu do webového prohlížeče se úvodní strana 5.1 Schéma zkušebního tělesa v levém horním rohu slouží pro objasnění použitých zkratk rozměrů trámce a rozpětí podpor. Rozměry se zadávají s tečkou jako oddělovač.

Fracture Characteristics: Three-Point Bending



Notes:

Put down

- Load-deflection diagram data files
- or
- Data from Load-deflection diagram

*1 leave blank for autoscale

*2 format conforming to scanf() function from c library. Defaults to %1f%1f%1f (time, load and deflection are in one file) or %1f%+2s%1f (time/load and time/deflections are in separated files)

SPECIMEN SIZE

W = [mm] B = [mm]

L = [mm] S = [mm]

a = [mm]

MATERIAL CHARACTERISTICS

Self-weight [kg, kg m⁻³]

Compression strength * R = [MPa]

Young's modulus E = [GPa]

LOAD DEFLECTION DIAGRAM FILES

View^{*1} d-axis from 0 to [mm]

View^{*1} P-axis from 0 to [N, kN]

Format of data file^{*2}

kN mm Compute descending branch

Soubor nevybrán

Soubor nevybrán

LOAD DEFLECTION DIAGRAM DATA

P_i = [kN] P_{max} = [kN]

d_i = [mm] dP_{max} = [mm]

Copyright (c) 2000-2003 Miroslav Stibor (stibor@vertigo.fme.vutbr.cz)

Obr. 5.1: Úvodní stránka programu StiCrack

Rozměry se zadávají v mm. Vlastní tíha může být zadána v kg nebo kg.m⁻³. Program podle velikosti sám rozpozná, o kterou veličinu se jedná. Dále může být zadána pevnost v tahu nebo tlaku a modul pružnosti E . Máme tak možnost zadat maximální hodnoty obou os. Formát textového dokumentu je stejný jako u softwaru GTDiPS (sloupce zleva: čas, síla, posun).

Po vyplnění potřebných hodnot a načtení textového souboru stačí jednoduše zmáčknout tlačítko NEXT a program na základě vstupních hodnot vypočítá lomové parametry.

6 VÝSLEDKY

Výsledné lomové parametry jsou přehledně zaznamenány v tabulkových přílohách. Dílčí výsledky jednotlivých zkoušek a vykreslení zatěžovacích diagramů jsou poté v obrázkové příloze. Malá část výstupů z programu StiCrack plných diagramů je chybová, v lineární části zatěžovacího diagramu neodpovídá datům vstupním. Jelikož se ale z plných diagramů počítala pouze lomová energie, odchylka od správné hodnoty je minimální.

7 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo vyhodnocení lomových testů na betonových trám-cích s rozptýlenou výztuží, přesněji se potom pokusit analyzovat příspěvky pevnosti betonové matrice a ocelových drátků. Velkou roli hrálo osvojení si programu GT-DiPS, který byl vynikající nástroj pro úpravu zatěžovacích diagramů a jejich přípravu pro další vyhodnocení.

K vlastnímu vyhodnocení lomových parametrů byl použit program StiCrack.

Vliv matrice byl odvozen odečtením aproximované regresní křivky vlivu příspěvku drátků od hodnot původních diagramů.

Studium podkladů pro tuto práci a obecně všechny nově nabyté znalosti mě velmi obohatily.

LITERATURA

- ČSN EN 14651 *Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- ČSN P 73 2452 *Vláknobeton – Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- FRANTÍK, P. – MAŠEK, J. *Aplikace GTDiPS*. Brno: VUT FAST, 2014.
- KARIHALOO, B. L. *Fracture Mechanics and Structural Concrete*. Essex: Longman Scientific and Technical, 1995. ISBN 0-582-21582-X.
- KERŠNER, Z. – PUKL, R. – NOVÁK, D. *Nelineární lomová mechanika pro modelování prvků a konstrukcí z kvazikřehkých materiálů. Studijní opora předmětu Vybrané stati z nosných konstrukcí budov, modul BL13-MO3*. Brno: VUT FAST, 2006.
- KUMAR, S. – BARAI, S. V. *Concrete Fracture Models and Applications*. Berlin: Springer – Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-16763-8.
- STIBOR, M. *Lomové parametry kvazikřehkých materiálů a jejich určování*. Brno, 2004. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

LELM lineární elastická lomová mechanika

- Π potenciální energie tělesa [J]
- W energie nutná k šíření trhliny [J]
- σ napětí [MPa]
- γ měrná povrchová energie [J/m²]
- E Youngův modul pružnosti [MPa]
- ν Poissonův součinitel (součinitel příčné kontrakce) [-]
- K faktor intenzity napětí (fin) [MPa.m^{1/2}]
- K_c kritická hodnota fin – lomová houževnatost [MPa.m^{1/2}]
- K_{Ic} lomová houževnatost pro zatěžovací mód I [MPa.m^{1/2}]
- G hnací síla trhliny [N/m]
- a délka trhliny [m]
- a_0 hloubka počátečního iniciačního zářezu [m]
- l_p délka lomové procesní zóny [m]
- w_c kritické otevření trhliny [m]
- h šířka fiktivního pásu trhlín [m]
- ϵ_c kritické poměrné přetvoření [-]
- W_F lomová práce [J]
- G_F lomová energie [J/m²]
- A_{lig} plocha odolávající lomu, ligament [m²]
- F_v svislá zatěžovací síla [N]
- $CMOD$ otevření ústí trhliny [m]
- $CTOD$ otevření kořene trhliny [m]
- d svislý průhyb uprostřed rozpětí [m]

- \bar{x} aritmetický průměr
- s výběrová směrodatná odchylka
- v_k variační koeficient

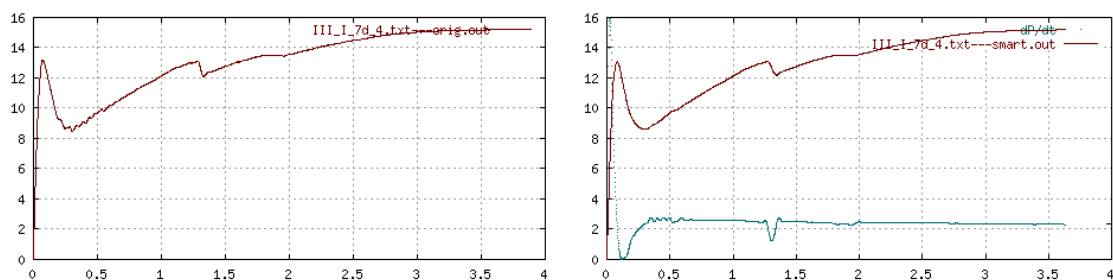
SEZNAM PŘÍLOH

A	Výstupy programu StiCrack	34
A.1	Sada III_I_7d	34
A.2	Sada III_I_28d	38
A.3	Sada III_I_28d_W	45
A.4	Sada III_I_126d	52
A.5	Sada III_II_7d	59
A.6	Sada III_II_126d	66
B	Tabulky výsledků	73
B.1	Sada III_I_7d	73
B.2	Sada III_I_28d	75
B.3	Sada III_I_28d_W	77
B.4	Sada III_I_126d	79
B.5	Sada III_II_7d	81
B.6	Sada III_II_126d	83

A VÝSTUPY PROGRAMU STICRACK

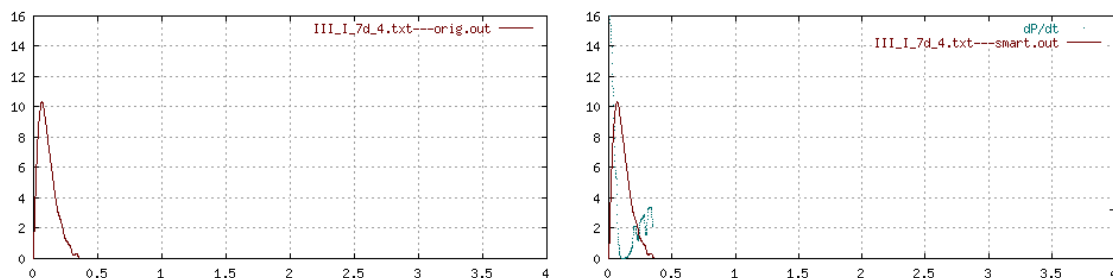
A.1 Sada III_I_7d

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_4.txt	-	150,8	150,3	500	549,1	49,9	2459,5	137,7	87,8	0,3309	0,9132	38,47	15,19	3,6
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,421	33,34	-0,101	1,2	52,52	2,889e+04	3087	3108	46,8	47,1					



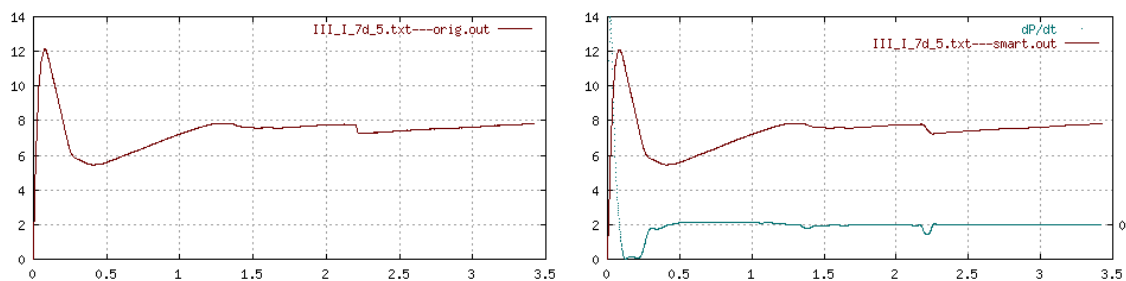
Obr. A.1: Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_4

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_4.txt	-	150,8	150,3	500	549,1	49,9	2459,5	71,8	21,9	0,3309	0,4761	36,36	10,37	0,067
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9744	1,459	-0,101	0,0777	26,12	58,56	29,69	98,47	0,45	1,49					



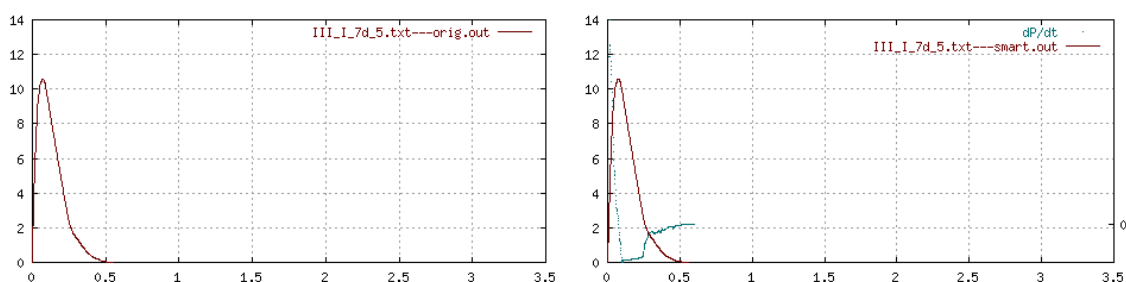
Obr. A.2: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_4

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_5.txt	-	151	150,9	500	549,4	49,7	2454,7	77,13	27,43	0,3291	0,5108	39,86	12,07	0,08
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,12	1,879	-0,103	0,123	31,49	88,61	43,92	1656	0,671	25,3					



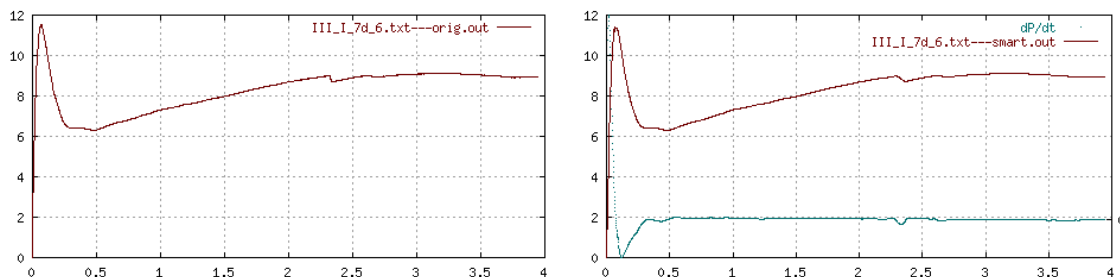
Obr. A.3: Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_5

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_5.txt	-	151	150,9	500	549,4	49,7	2454,7	79,29	29,59	0,3291	0,5251	39,32	10,59	0,076
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9842	1,73	-0,103	0,142	24,63	76,1	37,07	126,4	0,567	1,93					



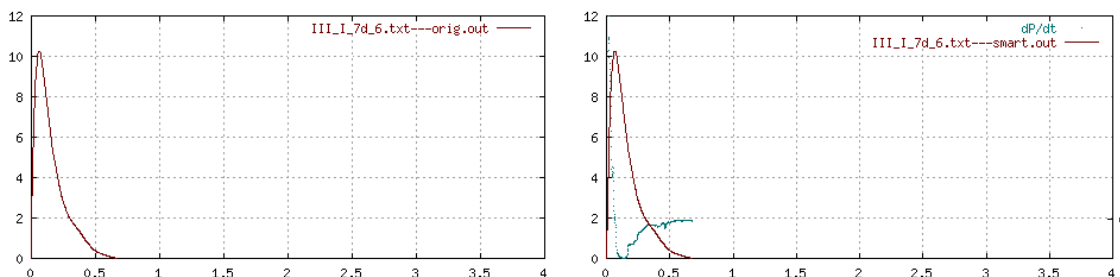
Obr. A.4: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_5

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_6.txt	-	150,6	151,9	500	549,1	50	2476,1	70,72	20,72	0,332	0,4696	40,43	11,43	0,064
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,066	1,561	-0,0992	0,0695	28,12	60,25	30,53	2132	0,467	32,6					



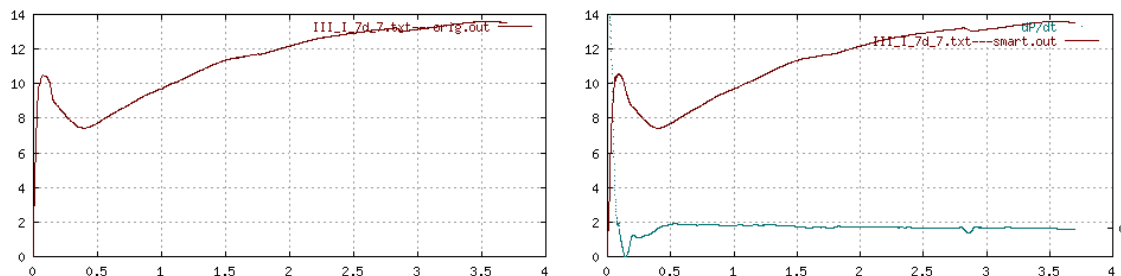
Obr. A.5: Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_6

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_6.txt	-	150,6	151,9	500	549,1	50	2476,1	77,58	27,58	0,332	0,5152	41,33	10,25	0,067
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9578	1,617	-0,0992	0,129	22,2	63,29	31,05	131,6	0,474	2,01					



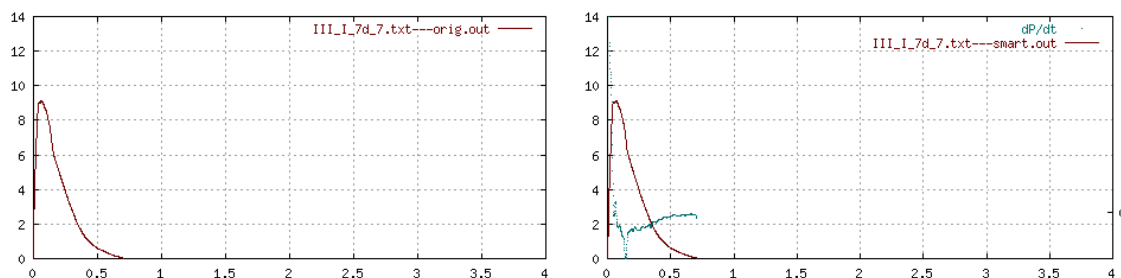
Obr. A.6: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_6

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a _e	a _e - a	a/W	a _e /W	E	P _{max, m}	d _{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_7.txt	-	151,6	151	500	549,6	50,4	2456,3	138,2	87,8	0,3325	0,9116	33,19	13,6	3,6
K _{Ic}	K _{Ice}	B	B _e	G _c	G _{ce}	G _{F1,m}	G _{F,m}	W _{F1,m}	W _{F,m}					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,262	28,71	-0,0992	1,18	48,02	2,483e+04	2611	2736	39,9	41,8					



Obr. A.7: Vstupní a výstupní data testu III_I_7d_7

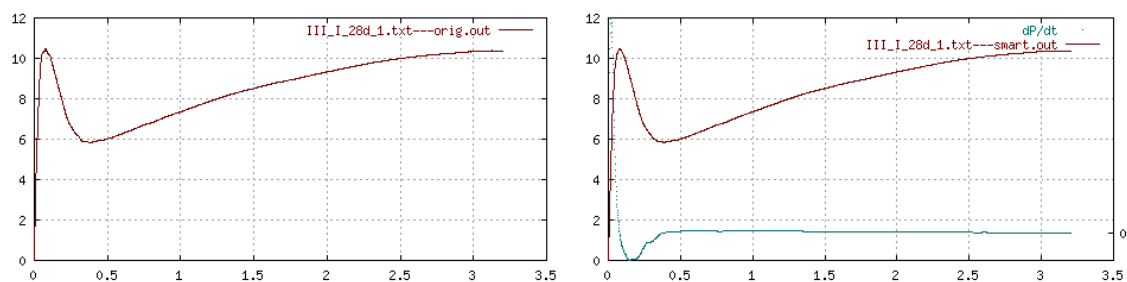
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a _e	a _e - a	a/W	a _e /W	E	P _{max, m}	d _{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_7d_7.txt	-	151,6	151	500	549,6	50,4	2456,3	82,69	32,29	0,3325	0,5455	40,2	9,124	0,069
K _{Ic}	K _{Ice}	B	B _e	G _c	G _{ce}	G _{F1,m}	G _{F,m}	W _{F1,m}	W _{F,m}					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,8513	1,59	-0,0992	0,169	18,03	62,86	30,37	141,9	0,464	2,17					



Obr. A.8: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_7d_7

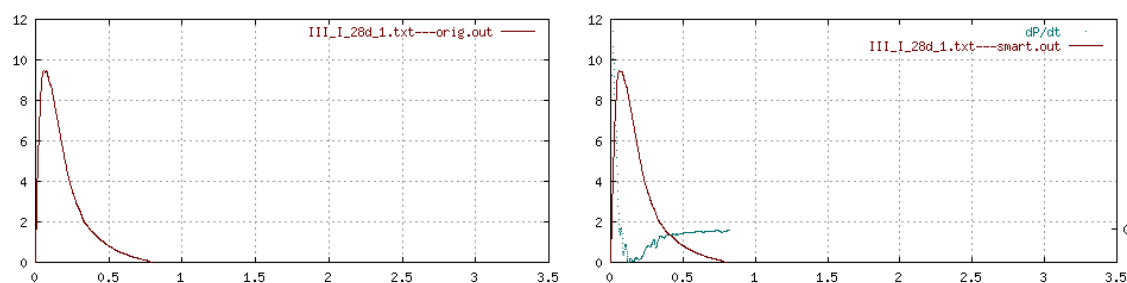
A.2 Sada III_I_28d

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_1.txt	-	151	150,7	500	549,6	50,1	2435	80,56	30,46	0,3318	0,5335	38,58	10,47	0,079
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9808	1,761	-0,0997	0,153	24,94	80,39	39,09	1802	0,594	27,4					



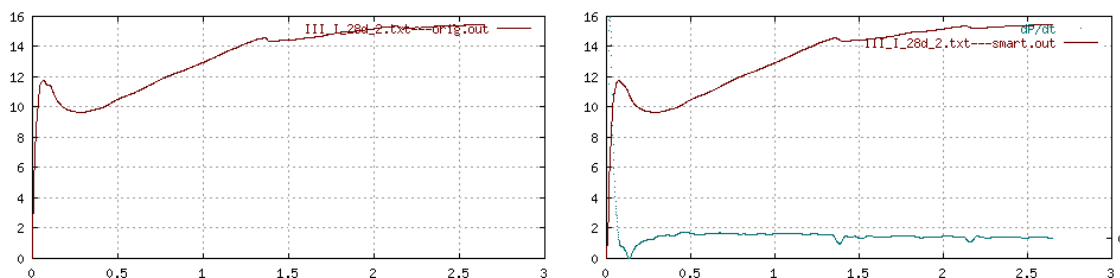
Obr. A.9: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_1

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_1.txt	-	151	150,7	500	549,6	50,1	2435	71,42	21,32	0,3318	0,473	36,95	9,451	0,059
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,8869	1,312	-0,0997	0,0735	21,29	46,61	23,74	146,7	0,361	2,23					



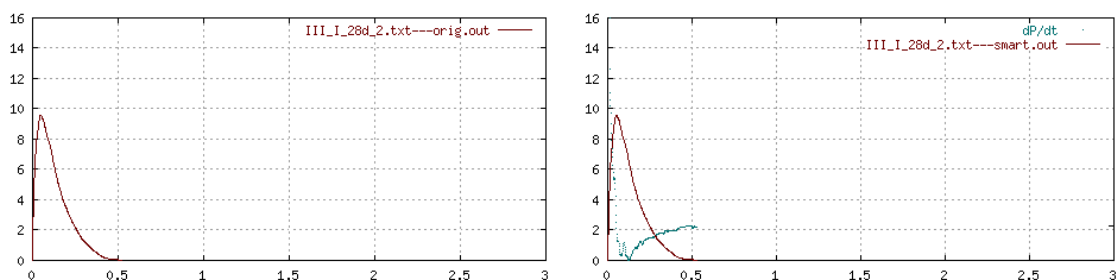
Obr. A.10: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_1

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_2.txt	-	150,1	149,7	500	550,3	49,1	2441,8	135,4	86,33	0,3271	0,9022	42,54	15,47	2,6
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,449	28,68	-0,105	1,11	49,33	1,934e+04	2324	2324	35,1	35,1					

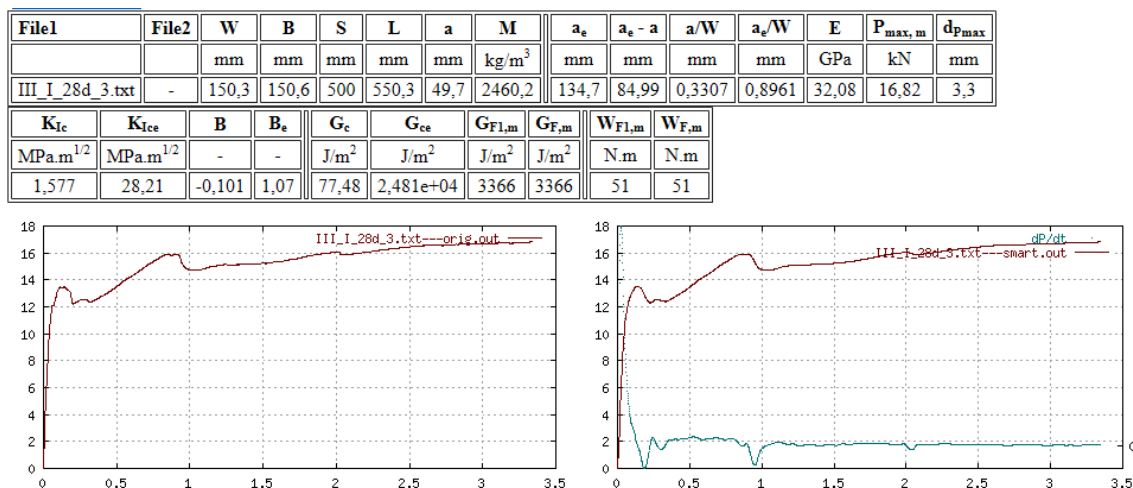


Obr. A.11: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_2

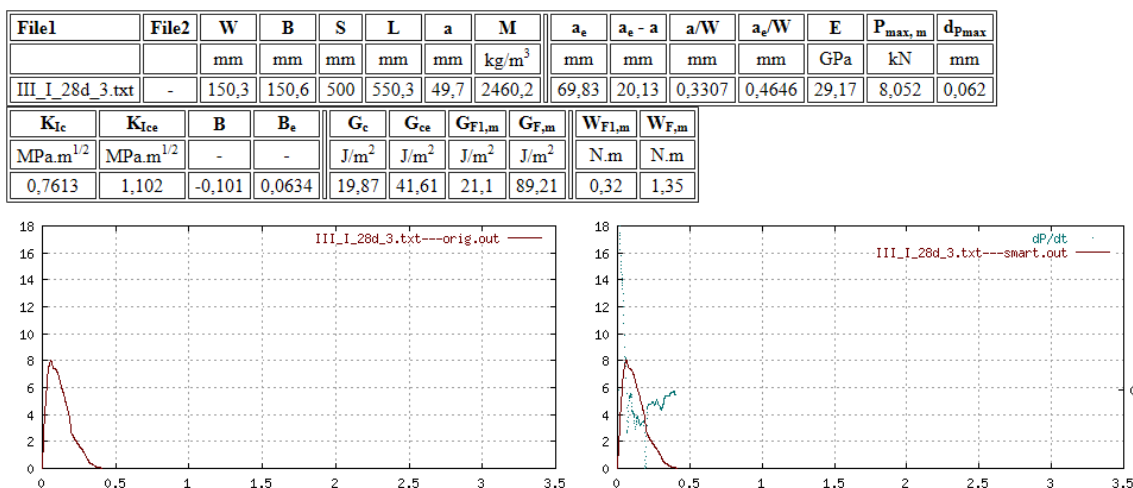
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_2.txt	-	150,1	149,7	500	550,3	49,1	2441,8	81,53	32,43	0,3271	0,5432	58,91	9,577	0,05
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9019	1,694	-0,105	0,167	13,81	48,72	22,41	108,2	0,339	1,64					



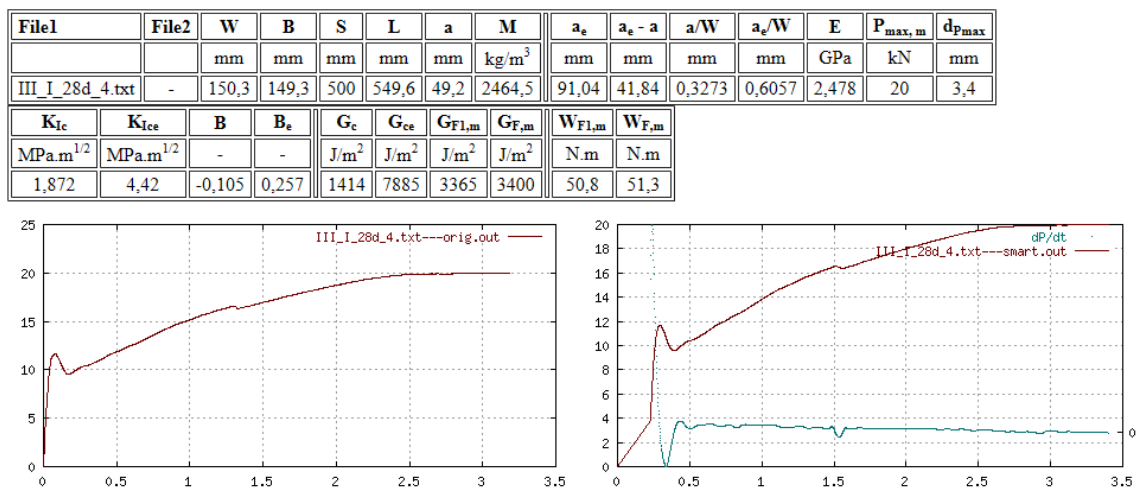
Obr. A.12: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_2



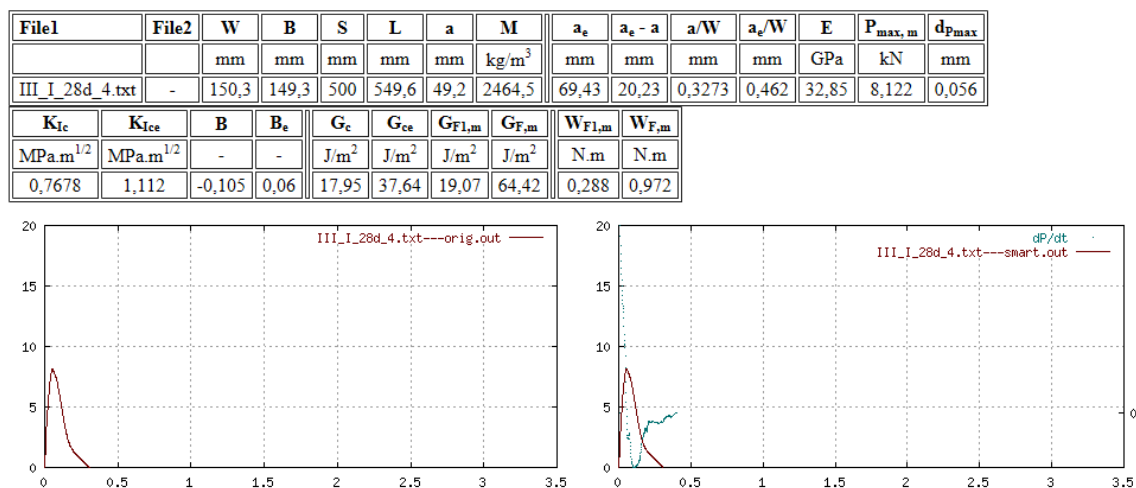
Obr. A.13: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_3



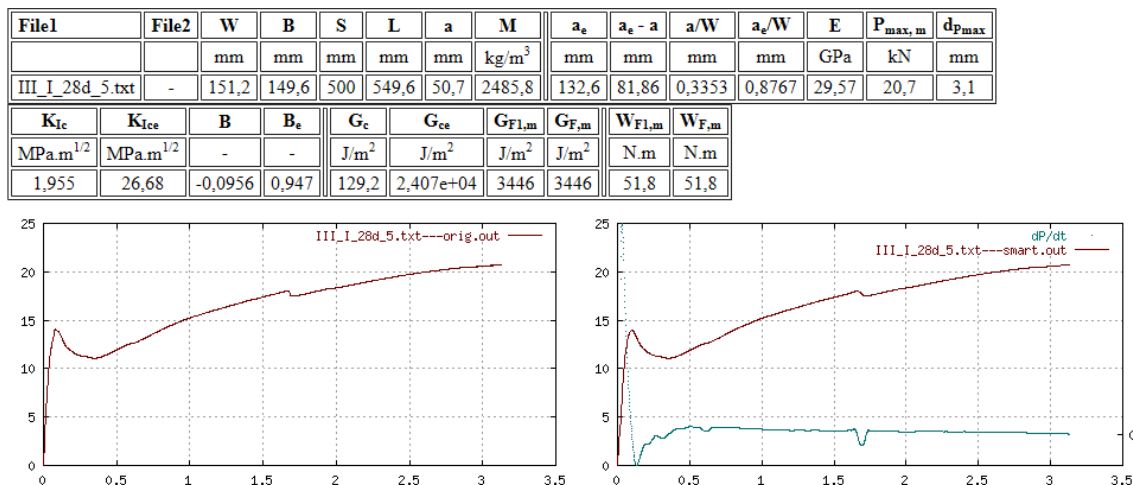
Obr. A.14: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_3



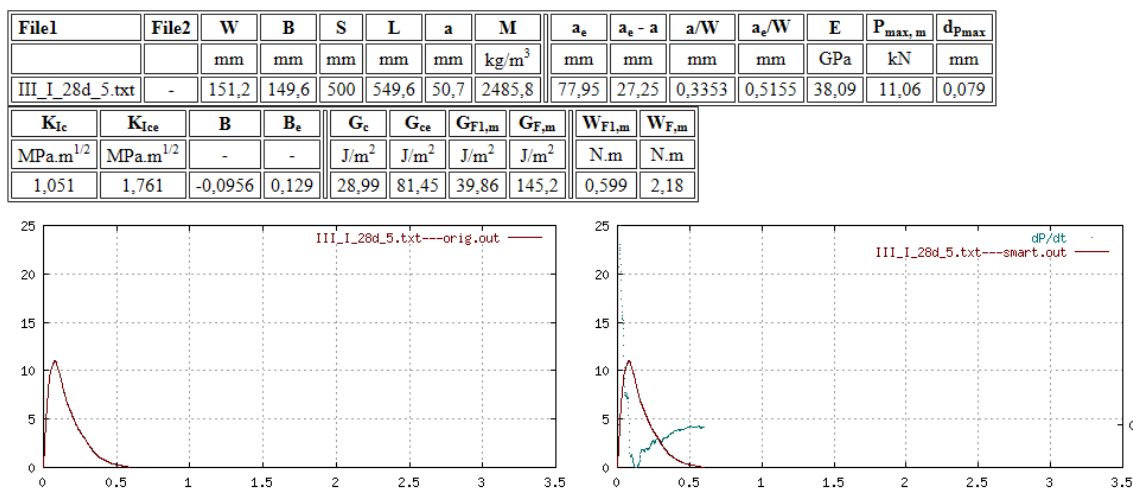
Obr. A.15: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_4



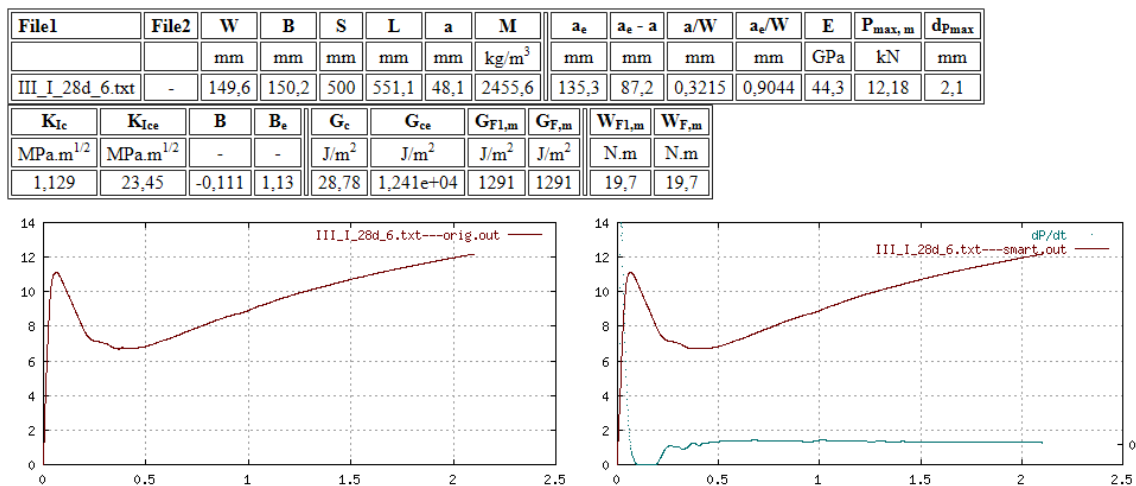
Obr. A.16: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_4



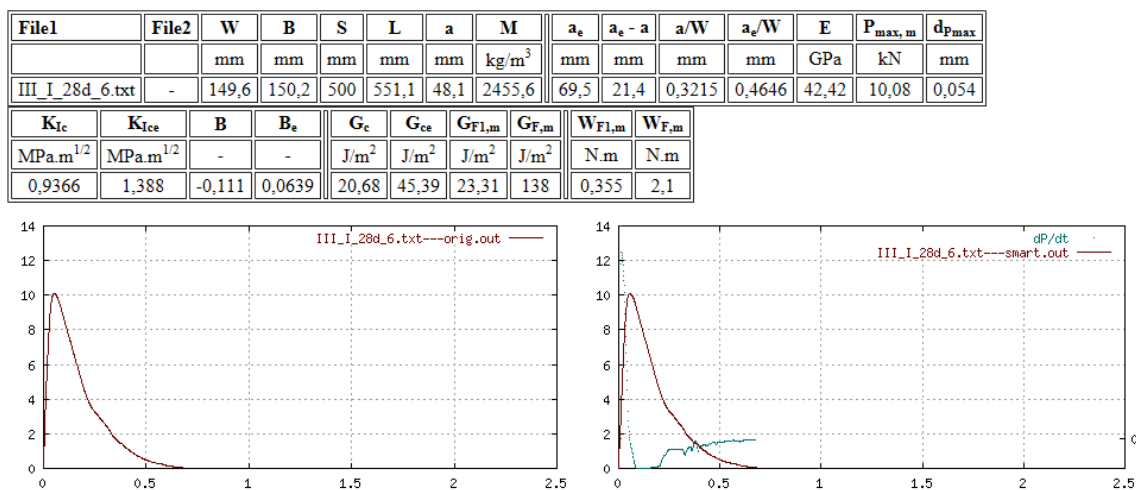
Obr. A.17: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_5



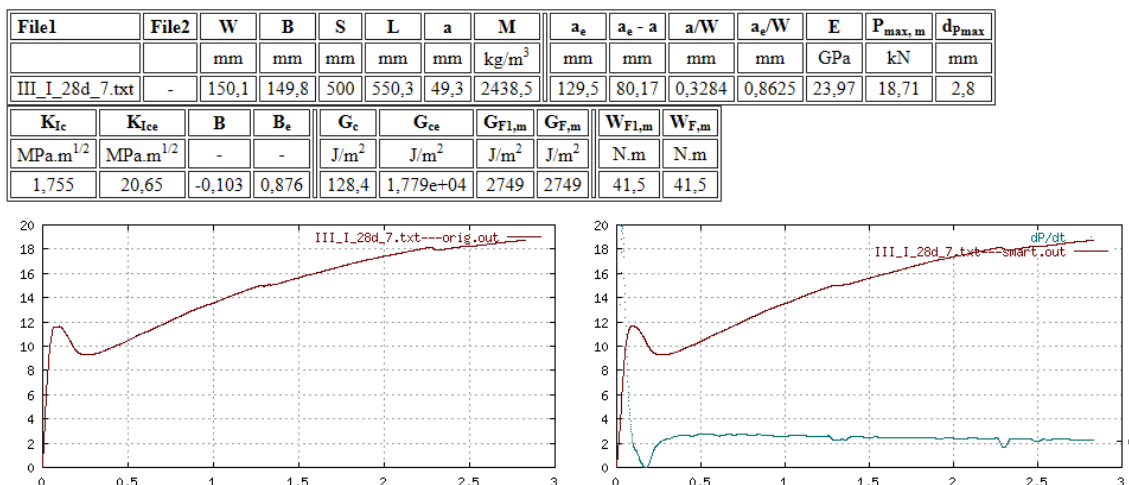
Obr. A.18: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_5



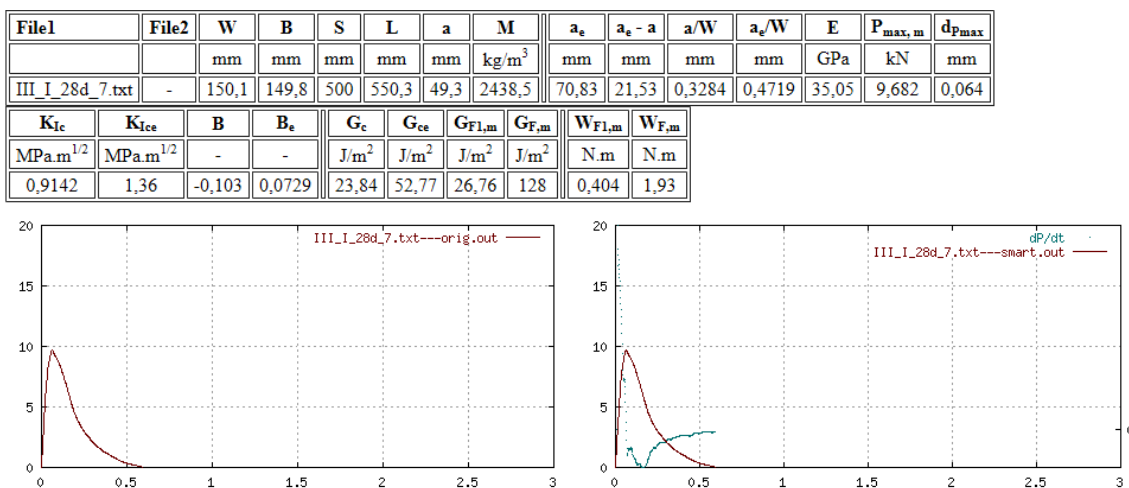
Obr. A.19: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_6



Obr. A.20: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_6



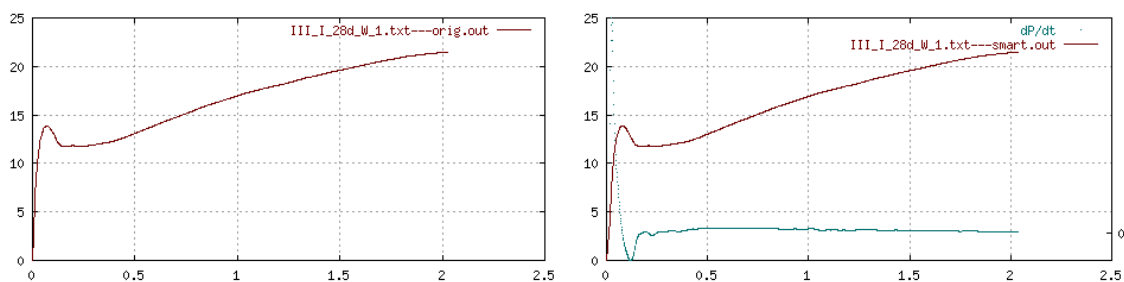
Obr. A.21: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_7



Obr. A.22: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_7

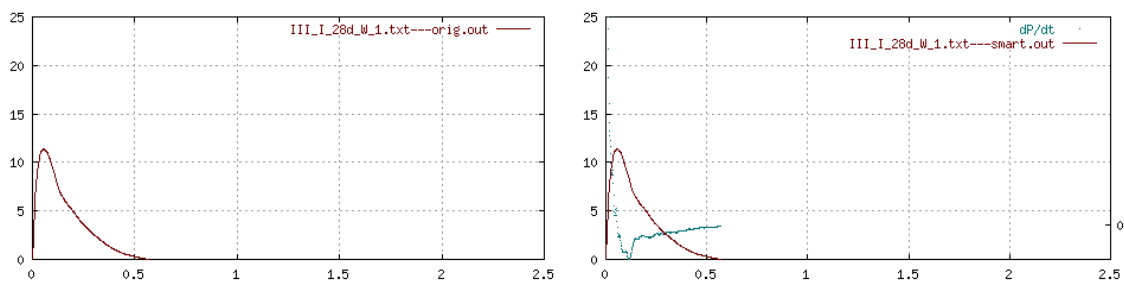
A.3 Sada III_I_28d_W

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_W_1.txt	-	150	151,4	500	548,6	49,9	2501,7	129	79,11	0,3327	0,8601	36,62	21,51	2
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
2,018	22,87	-0,0981	0,865	111,2	1,428e+04	2222	2222	33,7	33,7					

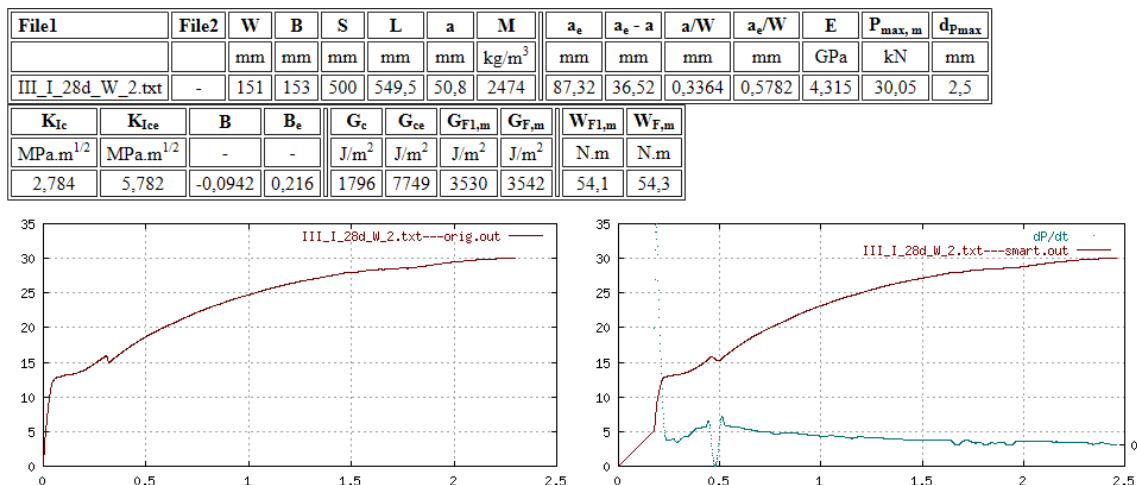


Obr. A.23: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_1

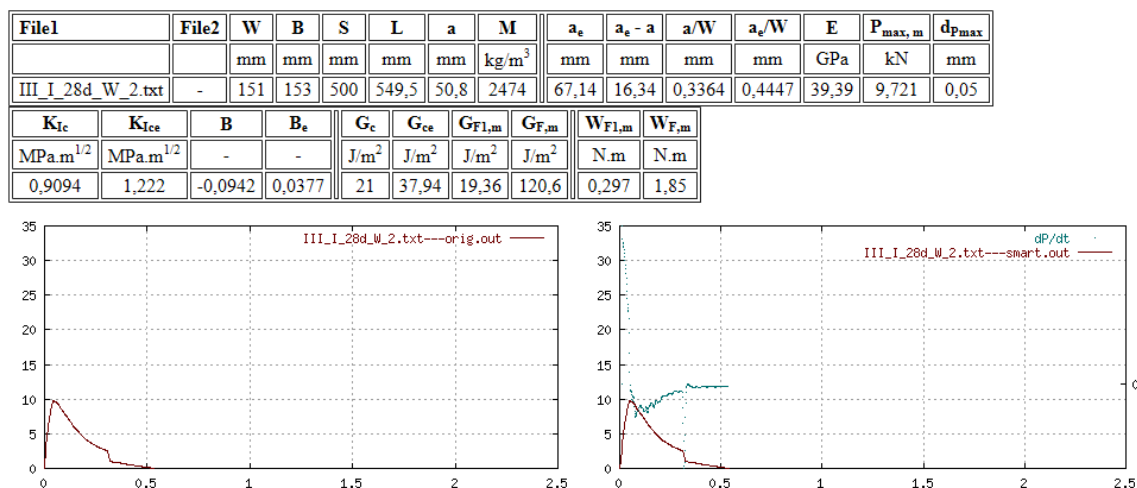
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_W_1.txt	-	150	151,4	500	548,6	49,9	2501,7	83,27	33,37	0,3327	0,5551	68,14	11,45	0,054
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,08	2,085	-0,0981	0,184	17,13	63,78	29,66	145,5	0,449	2,21					



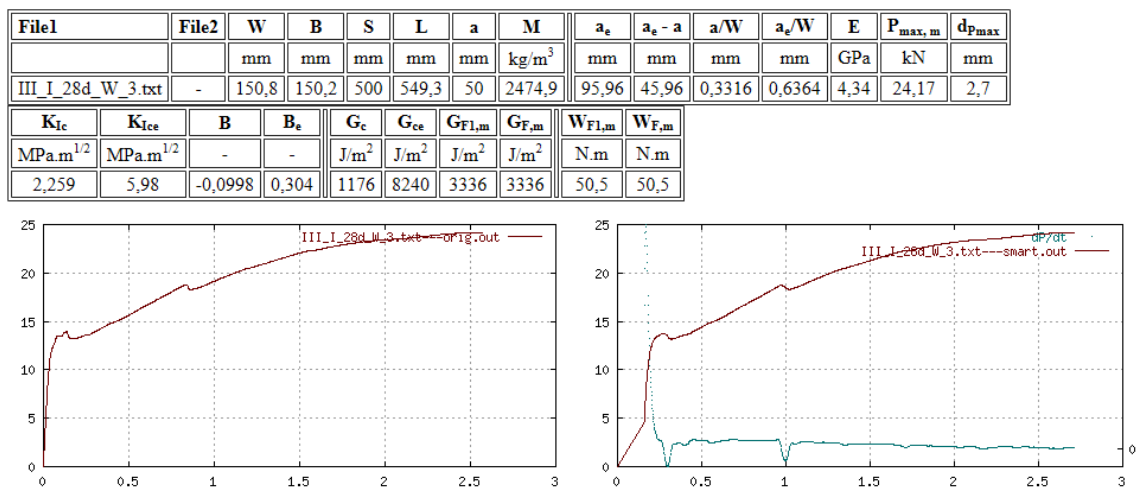
Obr. A.24: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_1



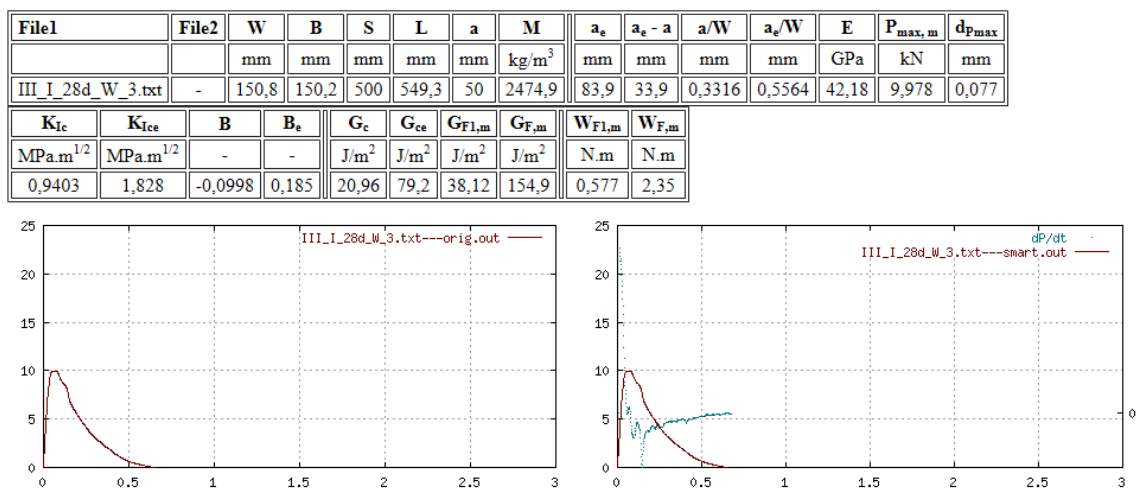
Obr. A.25: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_2



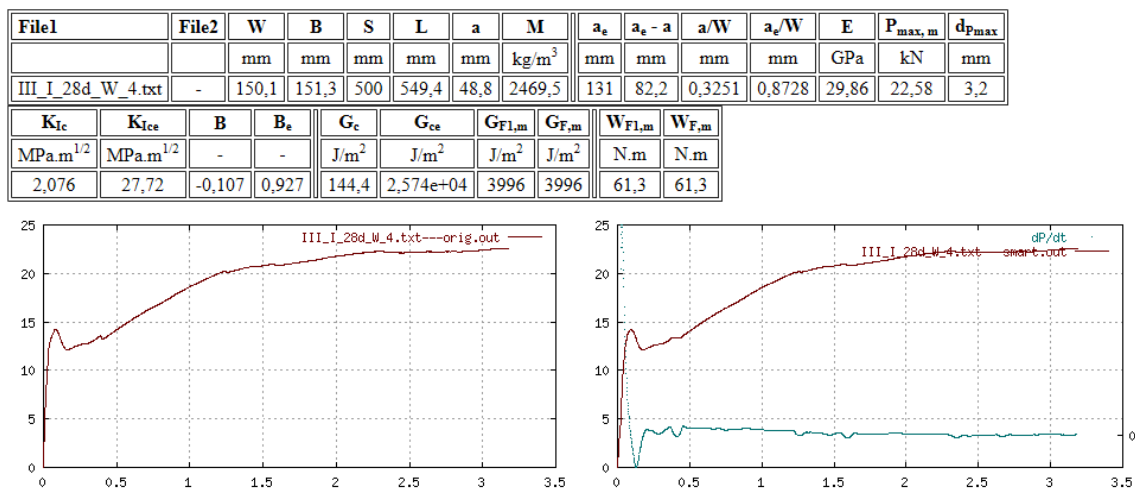
Obr. A.26: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_2



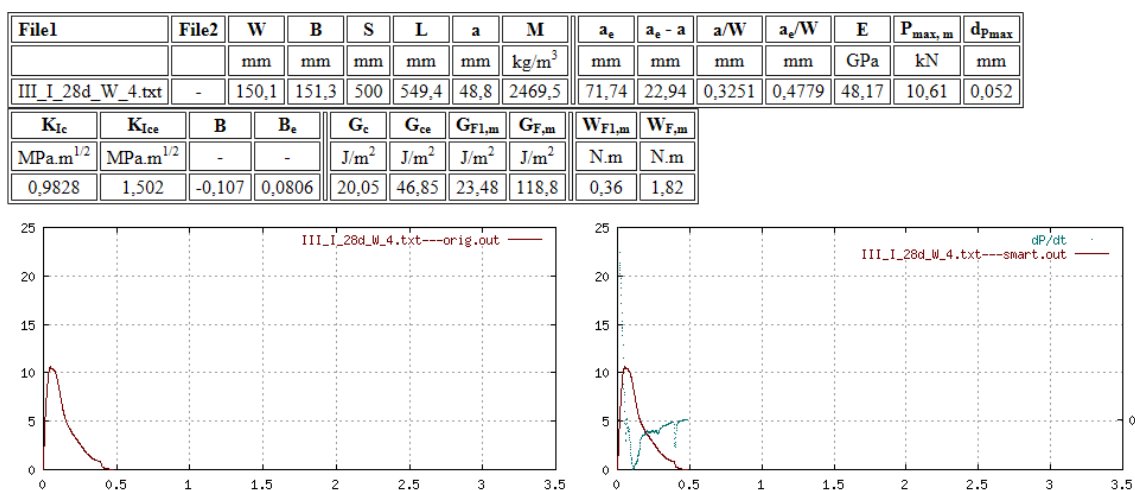
Obr. A.27: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_3



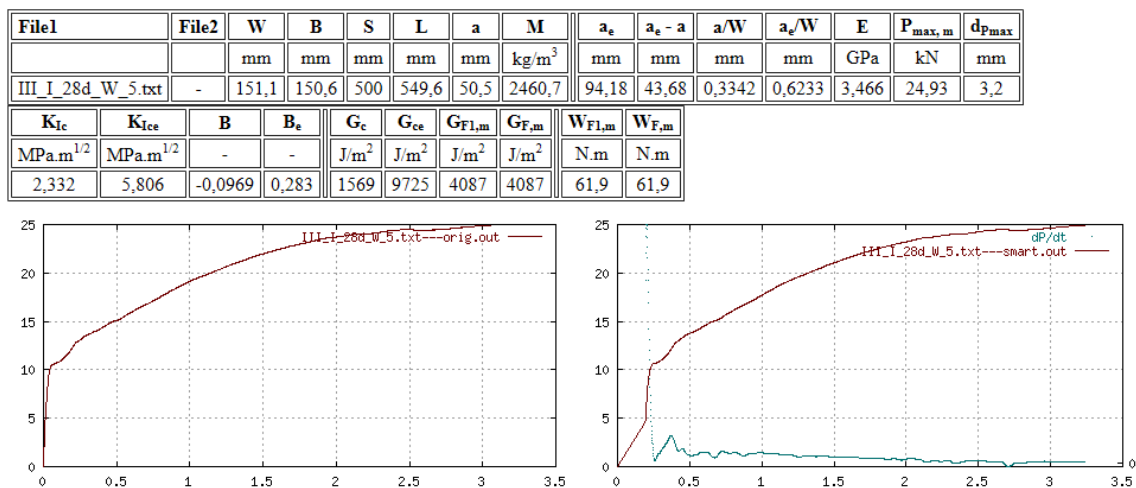
Obr. A.28: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_3



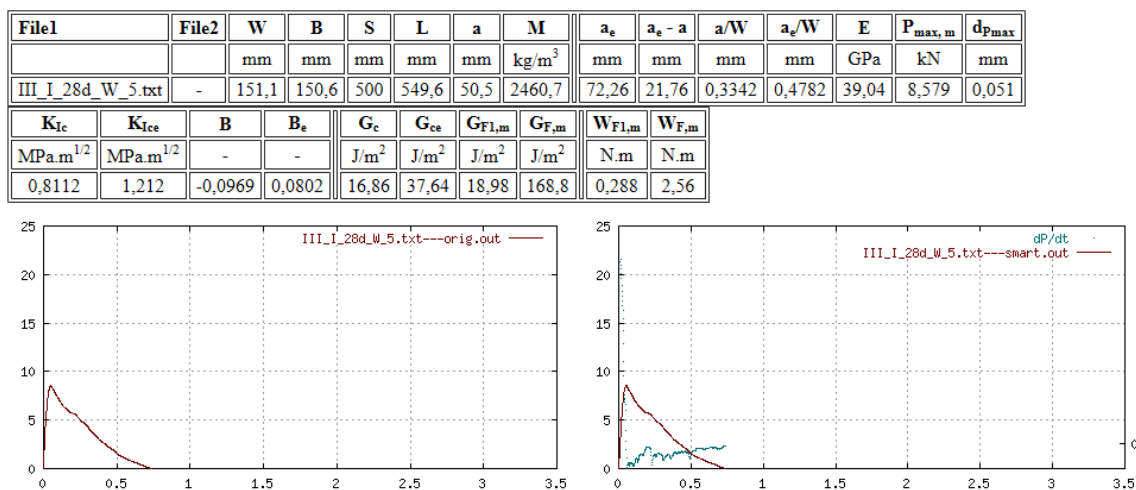
Obr. A.29: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_4



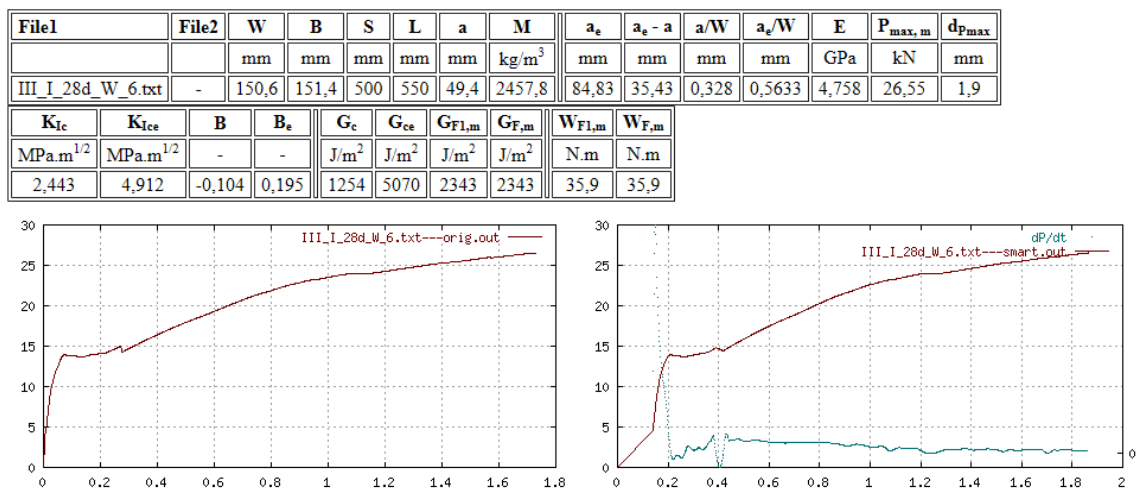
Obr. A.30: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_4



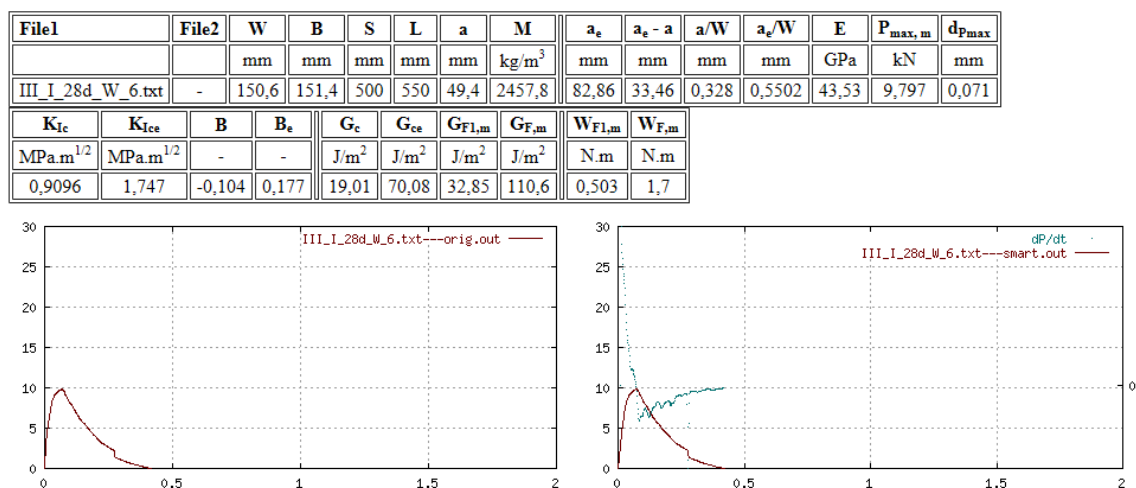
Obr. A.31: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_5



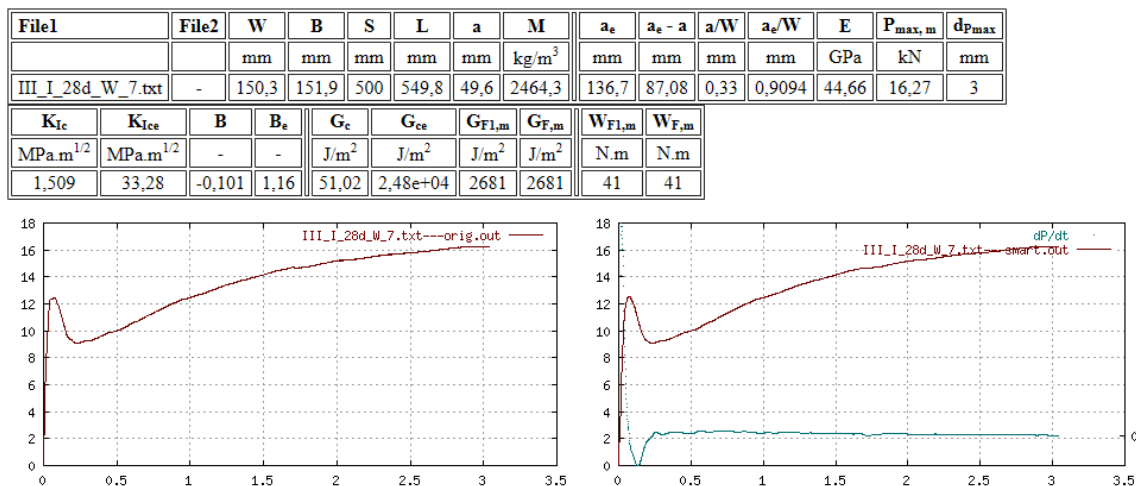
Obr. A.32: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_5



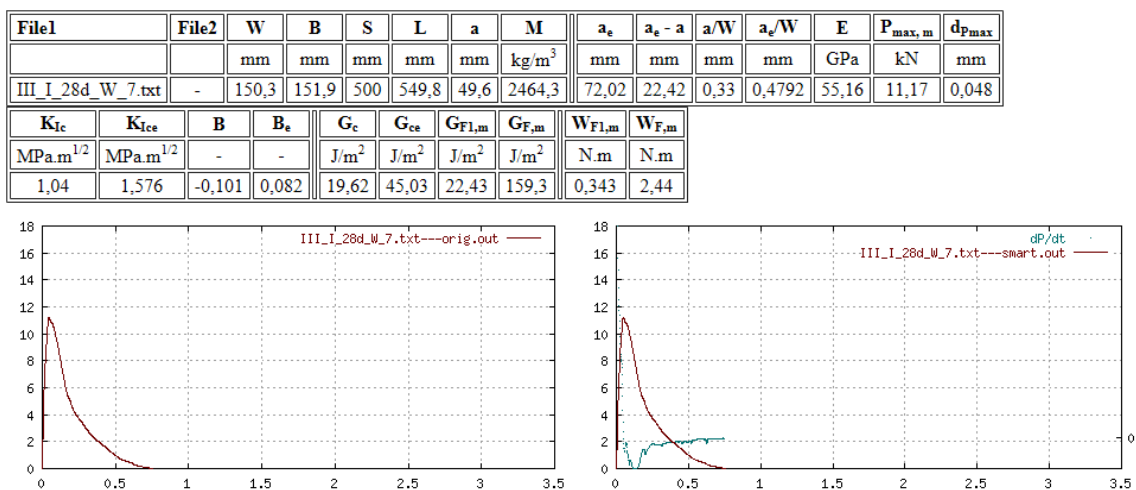
Obr. A.33: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_6



Obr. A.34: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_6



Obr. A.35: Vstupní a výstupní data testu III_I_28d_W_7

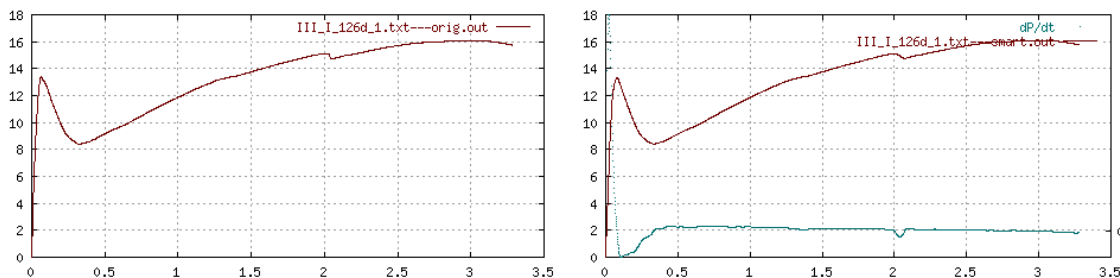


Obr. A.36: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_28d_W_7

A.4 Sada III_I_126d

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	dP_{max}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_1.txt	-	150,6	150,3	500	549,7	49,8	2450,9	136,6	86,77	0,3307	0,9068	42,37	16,08	3

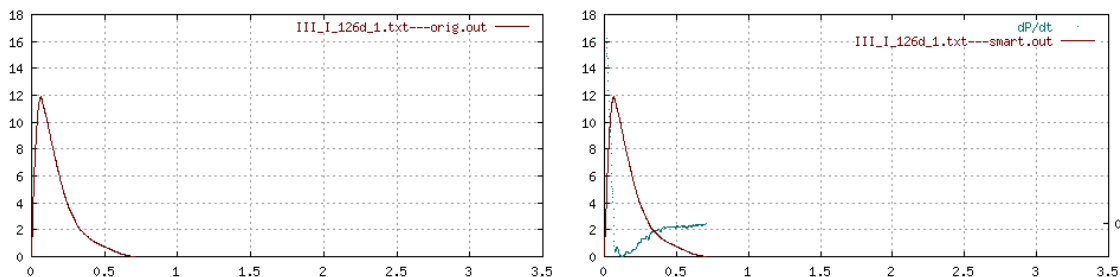
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m
1,505	31,77	-0,101	1,14	53,49	2,382e+04	2612	2892	39,6	43,8



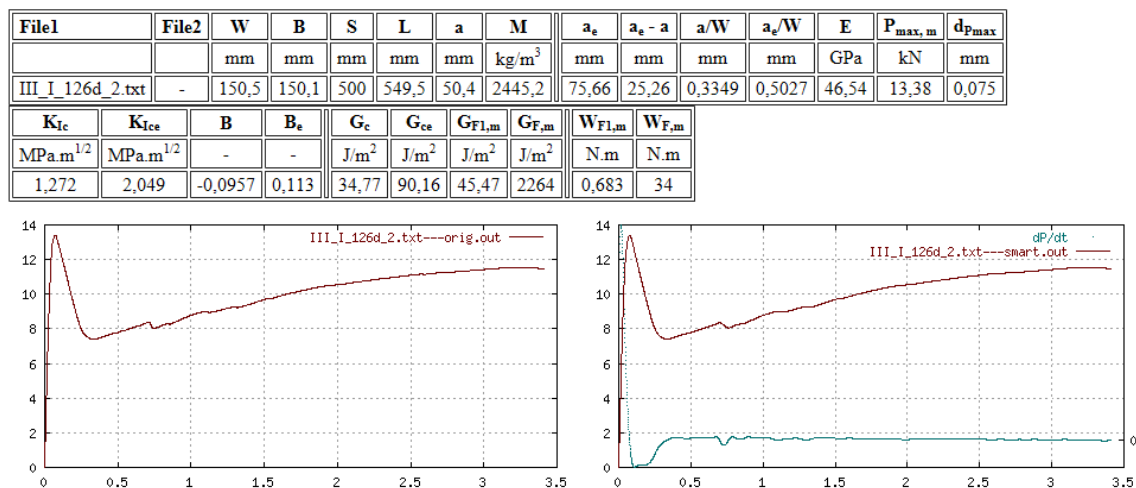
Obr. A.37: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_1

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	dP_{max}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_1.txt	-	150,6	150,3	500	549,7	49,8	2450,9	72,74	22,94	0,3307	0,483	43,92	11,87	0,065

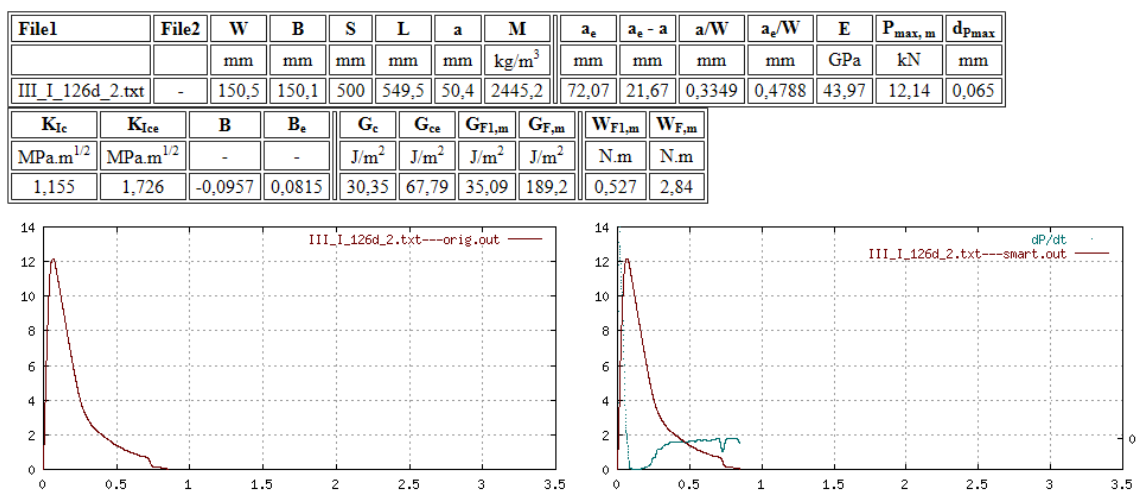
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m
1,115	1,706	-0,101	0,0868	28,3	66,29	33,4	161,6	0,506	2,45



Obr. A.38: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_1

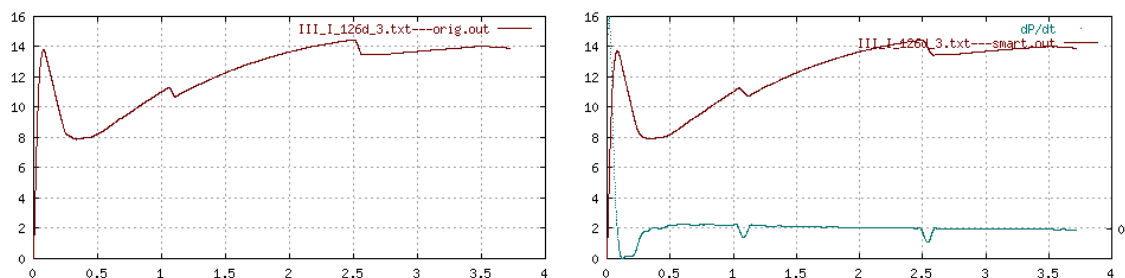


Obr. A.39: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_2



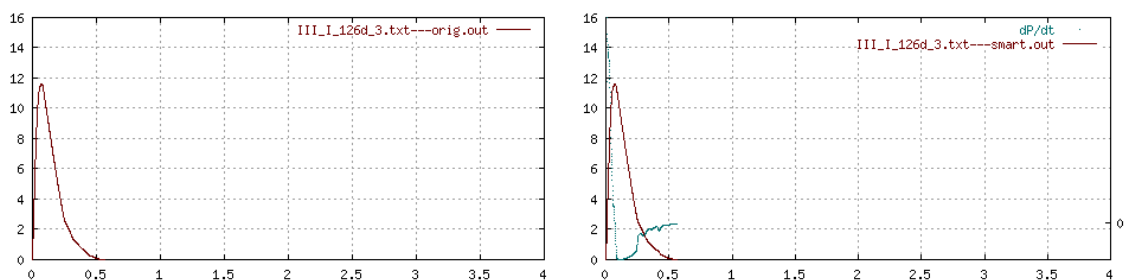
Obr. A.40: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_2

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_3.txt	-	149,8	150,7	500	549,4	50,8	2433,2	135,6	84,79	0,3391	0,9051	44,76	14,43	2,5
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,391	27,92	-0,0903	1,13	43,22	1,742e+04	1915	3051	28,6	45,5					

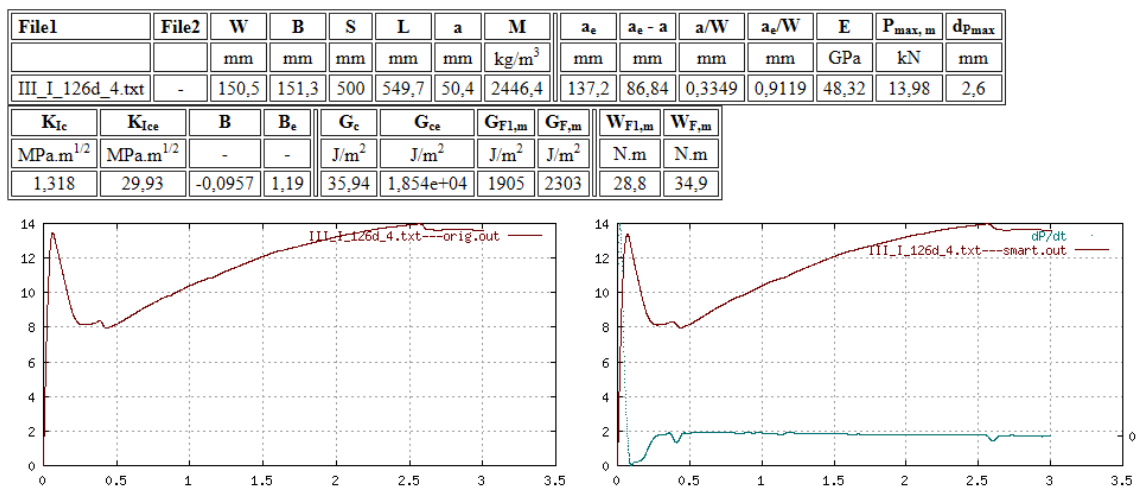


Obr. A.41: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_3

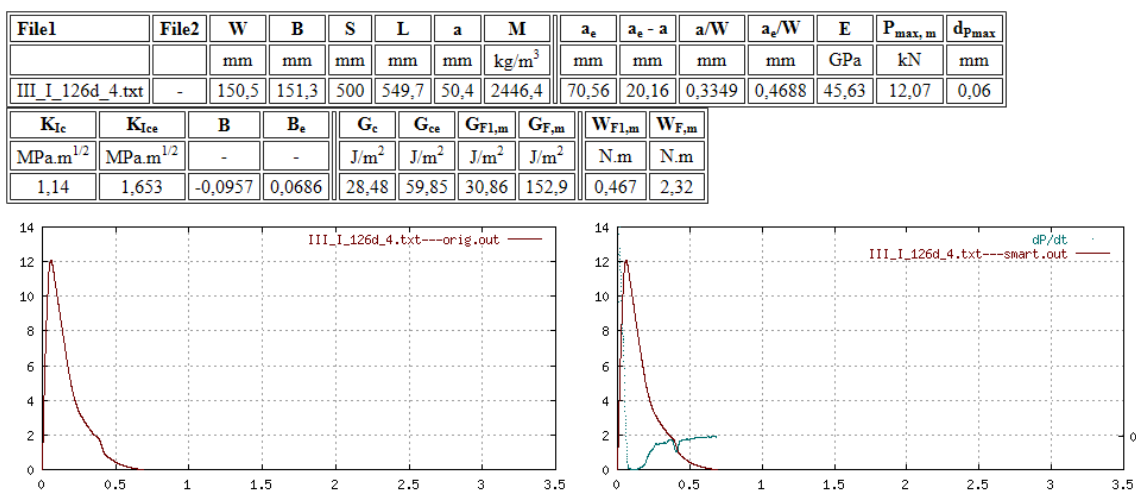
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_3.txt	-	149,8	150,7	500	549,4	50,8	2433,2	74,73	23,93	0,3391	0,4988	41,83	11,64	0,072
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,124	1,768	-0,0903	0,108	30,19	74,71	38,08	139,9	0,568	2,09					



Obr. A.42: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_3

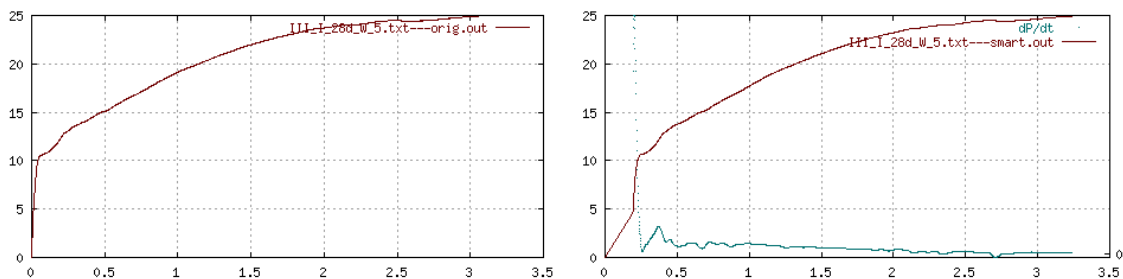


Obr. A.43: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_4



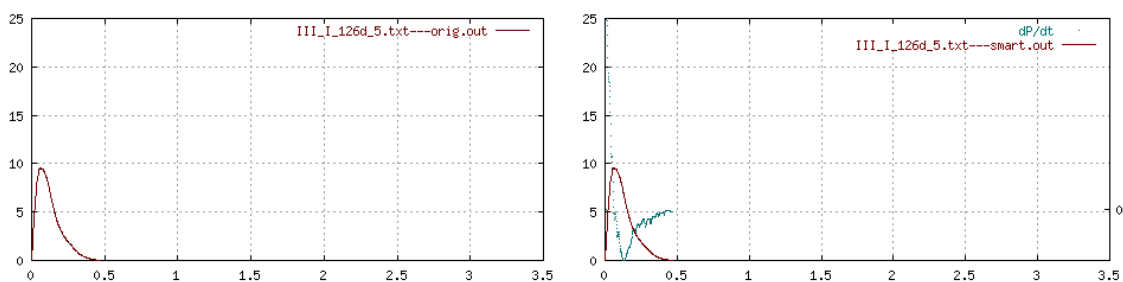
Obr. A.44: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_4

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_W_5.txt	-	150,1	150,2	500	551,3	50,8	2458,1	93,87	43,07	0,3384	0,6253	3,564	24,93	3,2
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
2,389	5,931	-0,0912	0,287	1601	9871	4152	4152	61,9	61,9					



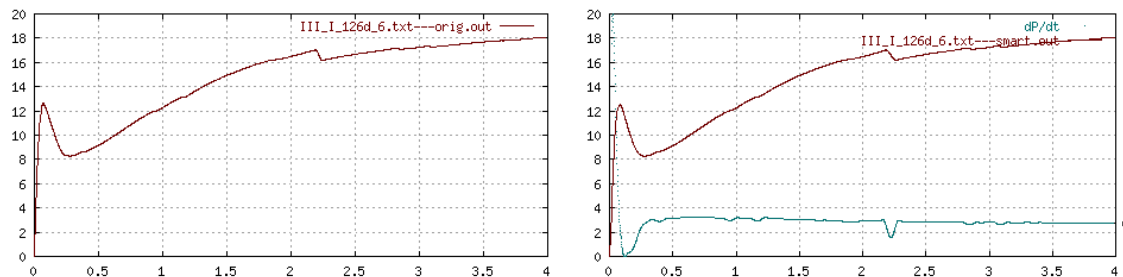
Obr. A.45: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_5

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_5.txt	-	150,1	150,2	500	551,3	50,8	2458,1	70,24	19,44	0,3384	0,468	36,89	9,548	0,059
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9231	1,322	-0,0912	0,0678	23,1	47,4	24,3	104,3	0,362	1,56					



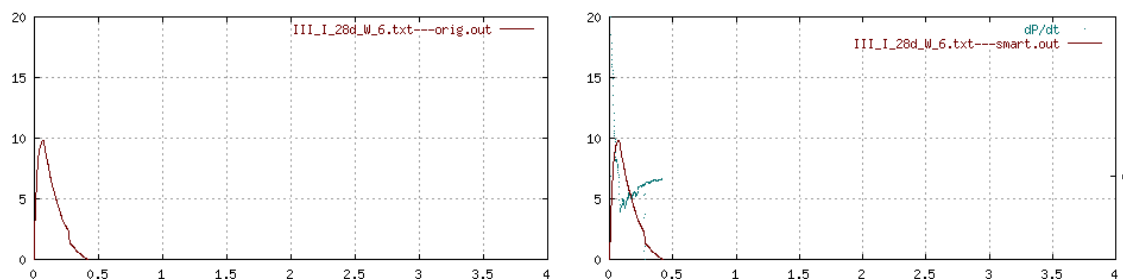
Obr. A.46: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_5

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a _e	a _e - a	a/W	a _e /W	E	P _{max,m}	dP _{max}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_126d_6.txt	-	150,2	150,9	500	550	49,9	2454,1	135,6	85,75	0,3322	0,9031	33,32	18,07	4
K _{Ic}	K _{Ice}	B	B _e	G _c	G _{ce}	G _{F1,m}	G _{F,m}	W _{F1,m}	W _{F,m}					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,698	33,63	-0,0987	1,12	86,55	3,395e+04	3887	3887	58,8	58,8					

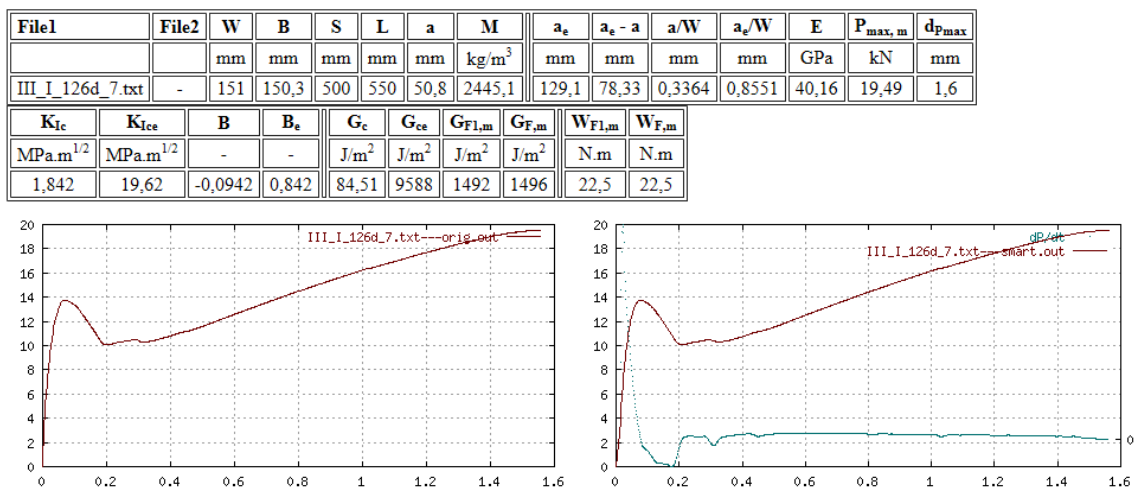


Obr. A.47: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_6

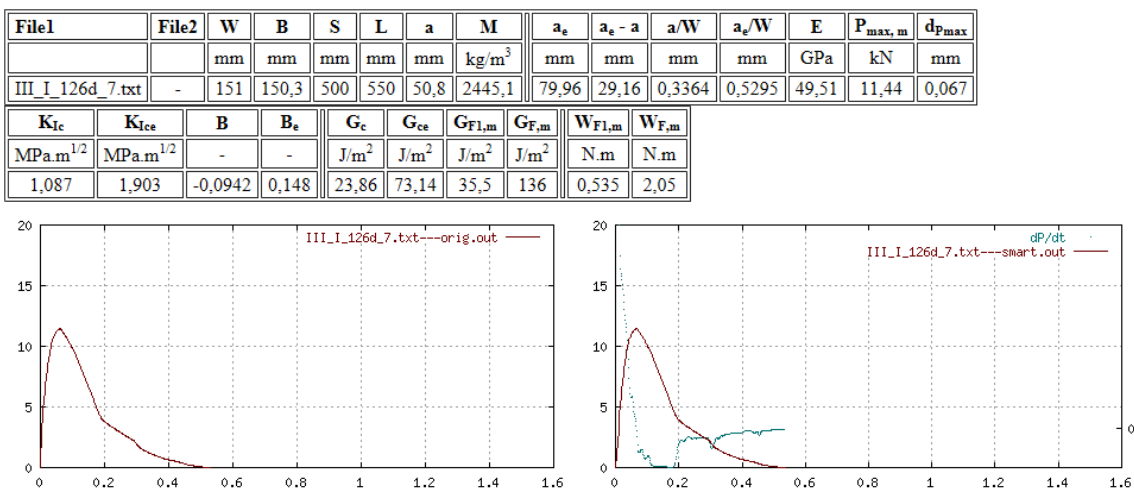
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a _e	a _e - a	a/W	a _e /W	E	P _{max,m}	dP _{max}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_I_28d_W_6.txt	-	150,2	150,9	500	550	49,9	2454,1	83,01	33,11	0,3322	0,5527	44,4	9,797	0,071
K _{Ic}	K _{Ice}	B	B _e	G _c	G _{ce}	G _{F1,m}	G _{F,m}	W _{F1,m}	W _{F,m}					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9264	1,775	-0,0987	0,18	19,33	70,92	33,25	112	0,503	1,7					



Obr. A.48: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_6



Obr. A.49: Vstupní a výstupní data testu III_I_126d_7

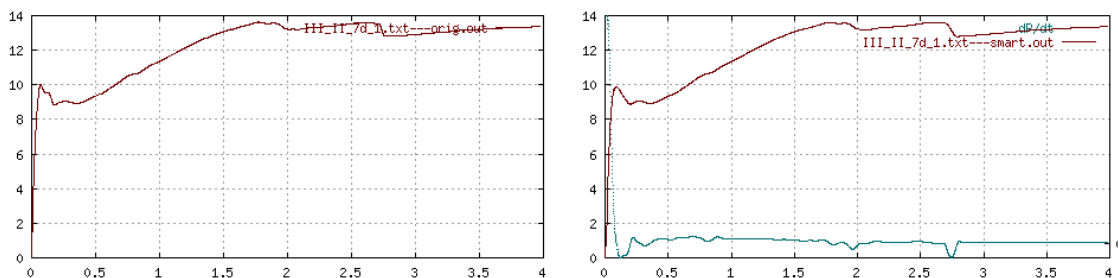


Obr. A.50: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_I_126d_7

A.5 Sada III_II_7d

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_7d_1.txt	-	150,2	151,2	500	550,8	49,5	2442,6	129,1	79,61	0,3296	0,8596	26,36	13,62	1,8

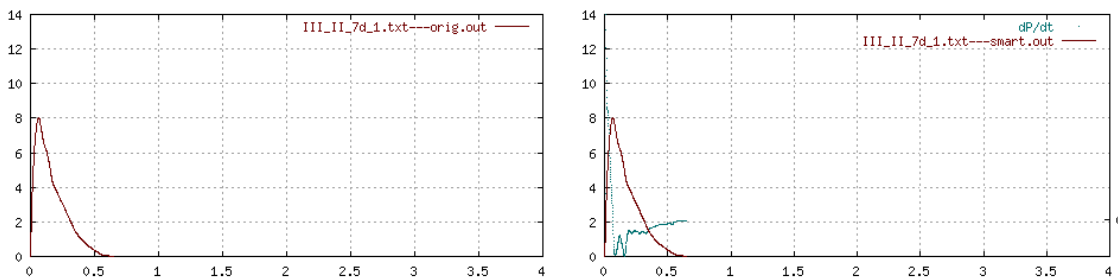
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m
1,271	14,44	-0,102	0,862	61,29	7911	1271	3190	19,4	48,6



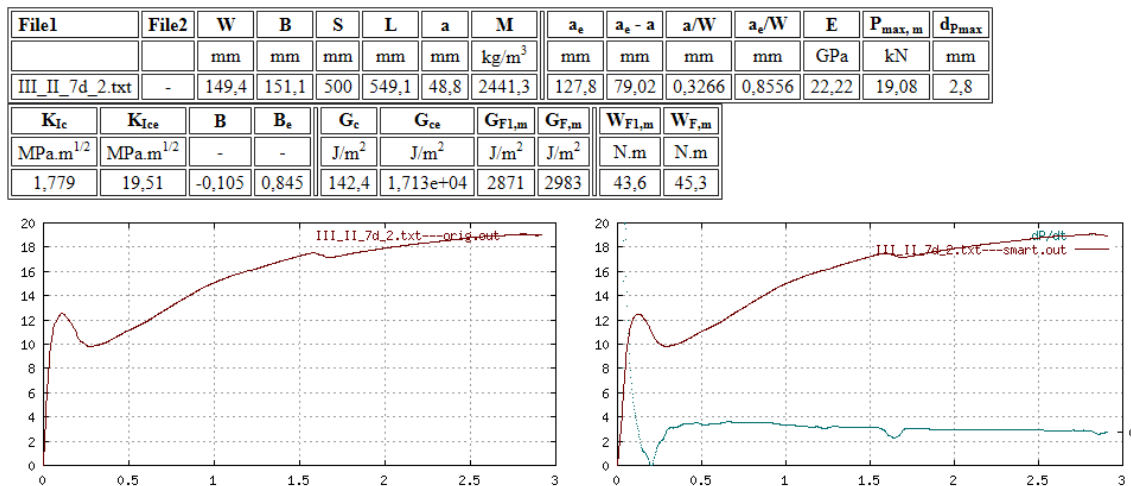
Obr. A.51: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_1

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_7d_1.txt	-	150,2	151,2	500	550,8	49,5	2442,6	75,31	25,81	0,3296	0,5014	31,22	8,029	0,066

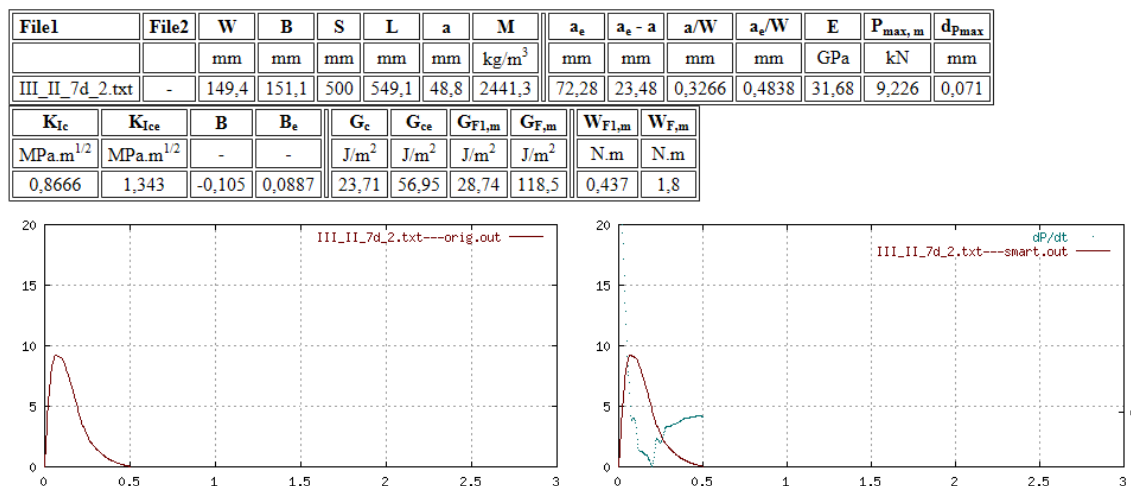
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m
0,7548	1,227	-0,102	0,111	18,24	48,21	23,74	110,5	0,361	1,68



Obr. A.52: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_1

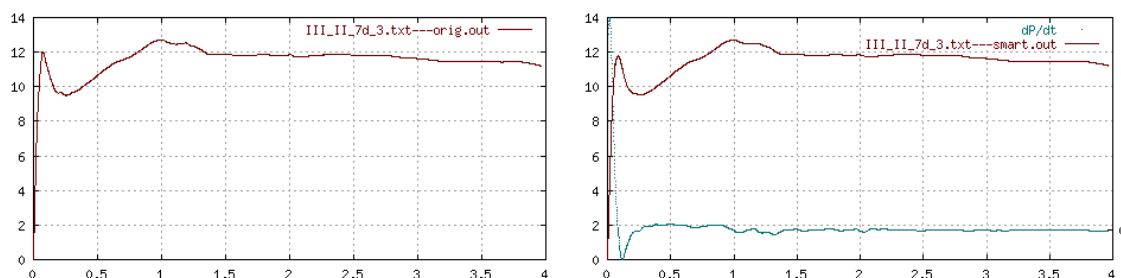


Obr. A.53: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_2



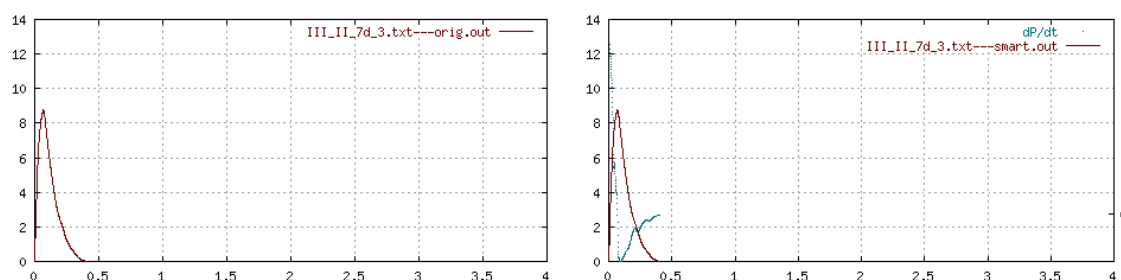
Obr. A.54: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_2

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_7d_3.txt	-	150,5	149,8	500	549,1	50	2451,4	127,3	77,32	0,3322	0,846	36,46	12,69	1
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
1,201	11,78	-0,0989	0,804	39,57	3806	710,9	3029	10,7	45,6					

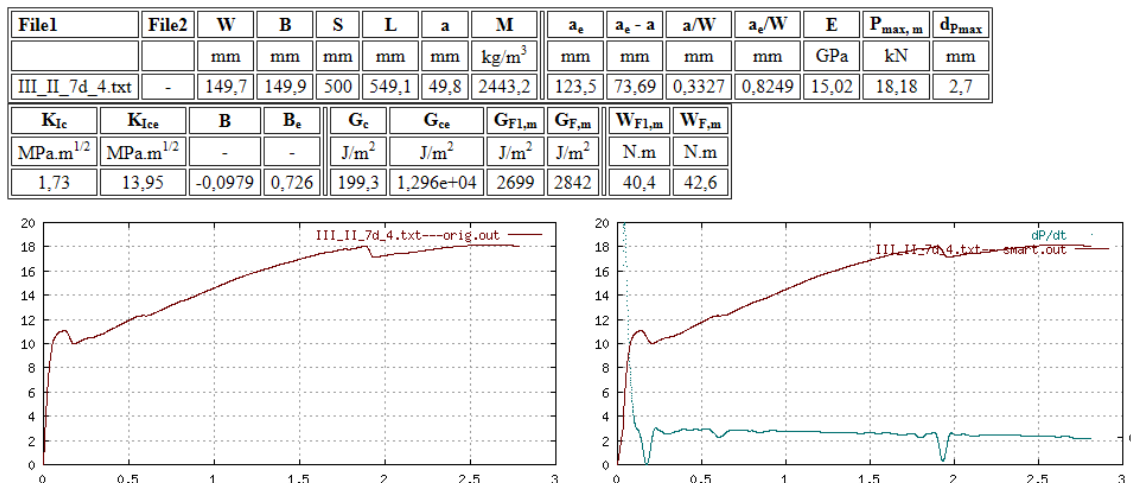


Obr. A.55: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_3

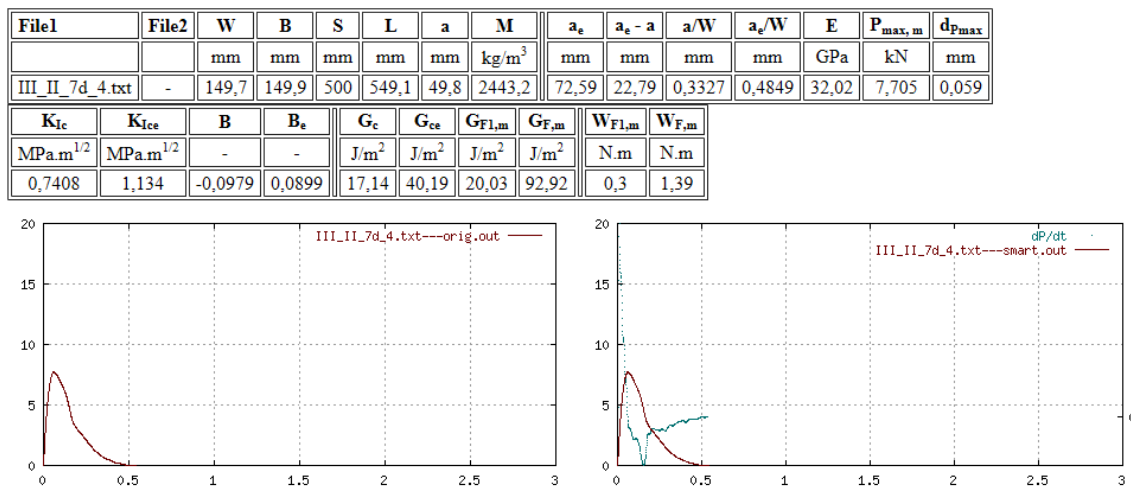
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max, m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_7d_3.txt	-	150,5	149,8	500	549,1	50	2451,4	76,3	26,3	0,3322	0,5069	33,15	8,755	0,07
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,8327	1,368	-0,0989	0,118	20,92	56,49	27,73	83,24	0,417	1,25					



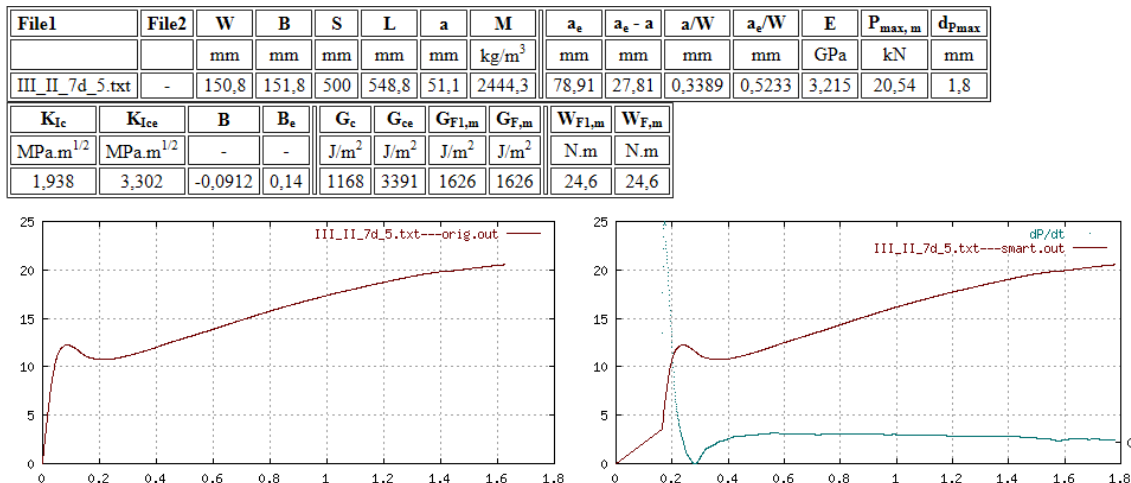
Obr. A.56: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_3



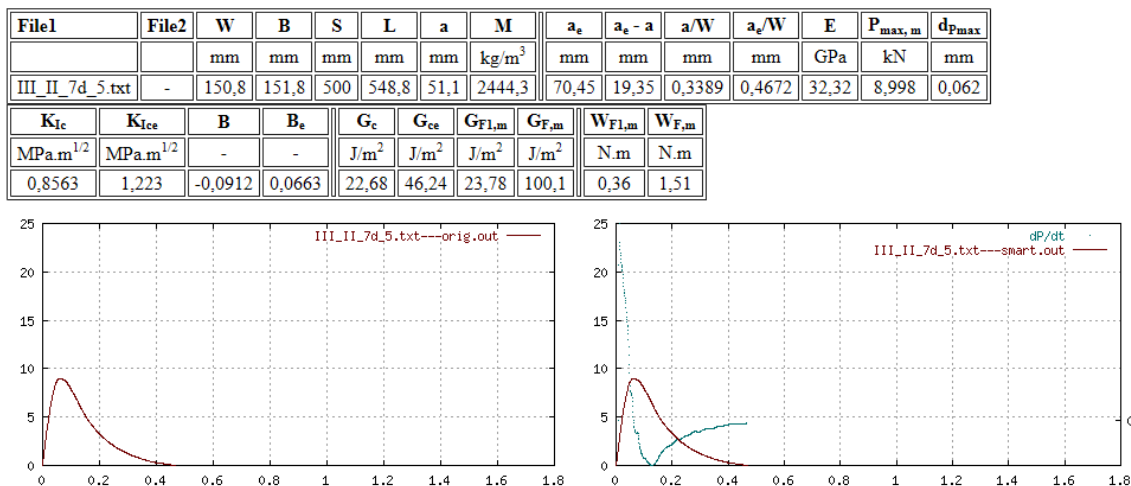
Obr. A.57: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_4



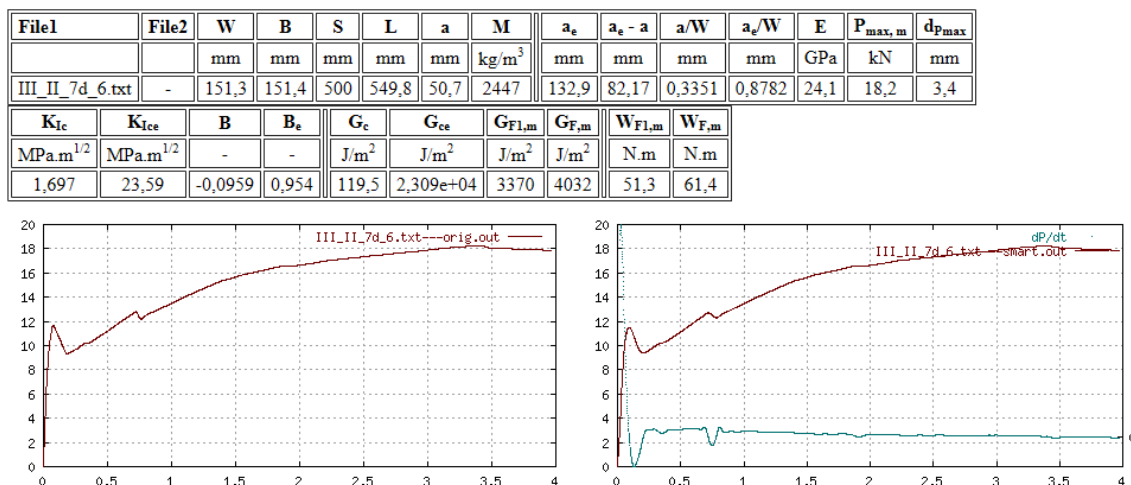
Obr. A.58: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_4



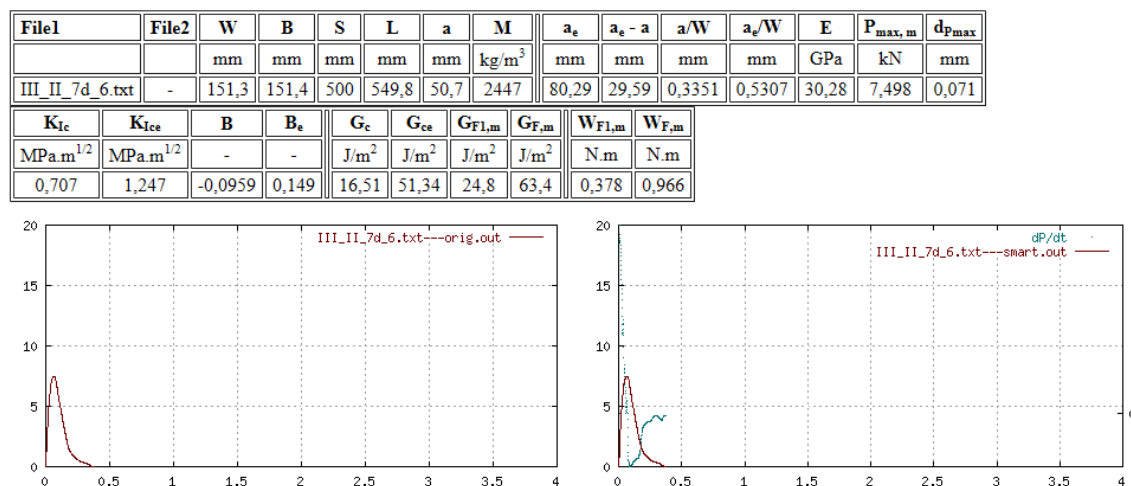
Obr. A.59: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_5



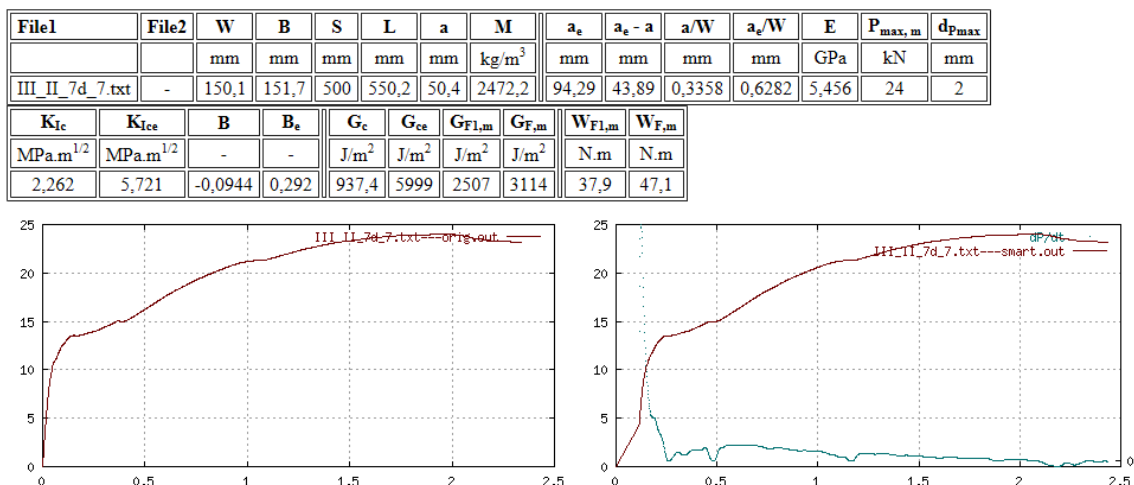
Obr. A.60: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_5



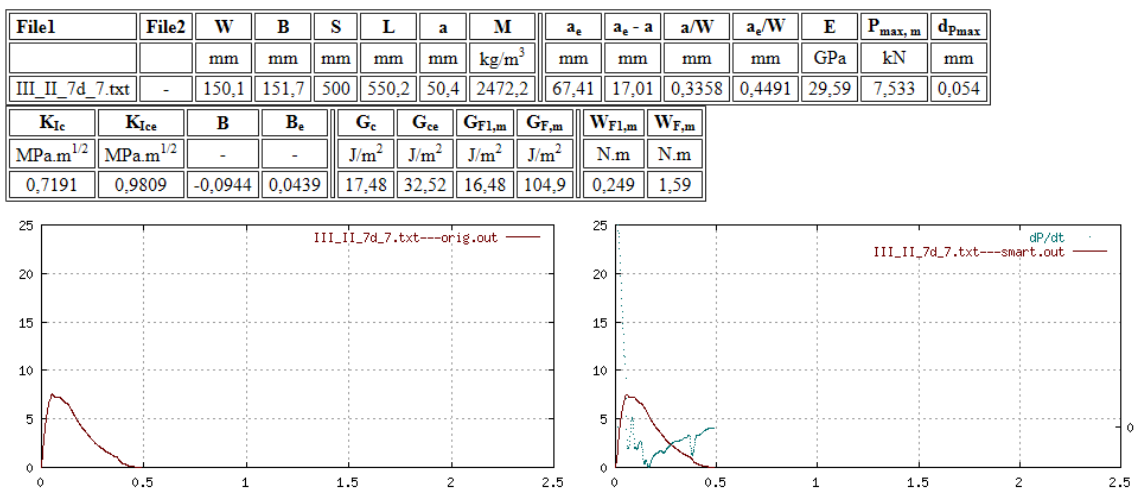
Obr. A.61: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_6



Obr. A.62: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_6



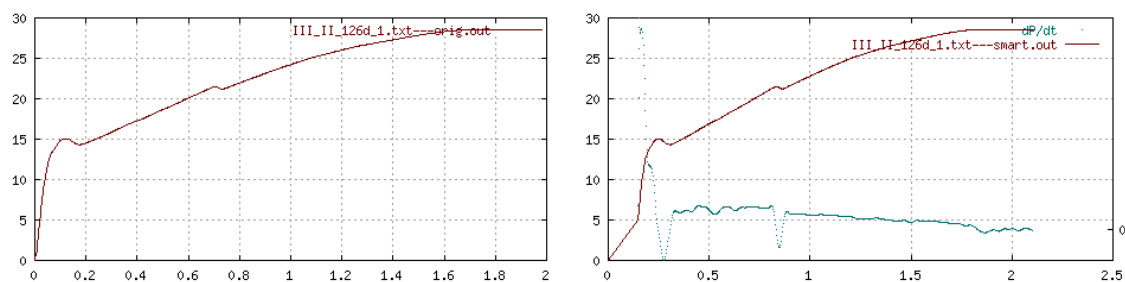
Obr. A.63: Vstupní a výstupní data testu III_II_7d_7



Obr. A.64: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_7d_7

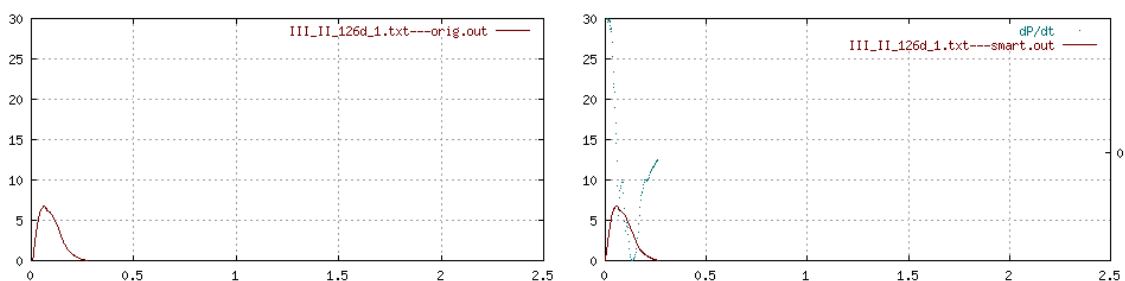
A.6 Sada III_II_126d

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_126d_1.txt	-	150,2	150,3	500	549,8	49,2	2475	82,57	33,37	0,3276	0,5497	4,96	28,6	1,8
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
2,658	5,1	-0,104	0,176	1424	5245	2436	2951	37	44,8					

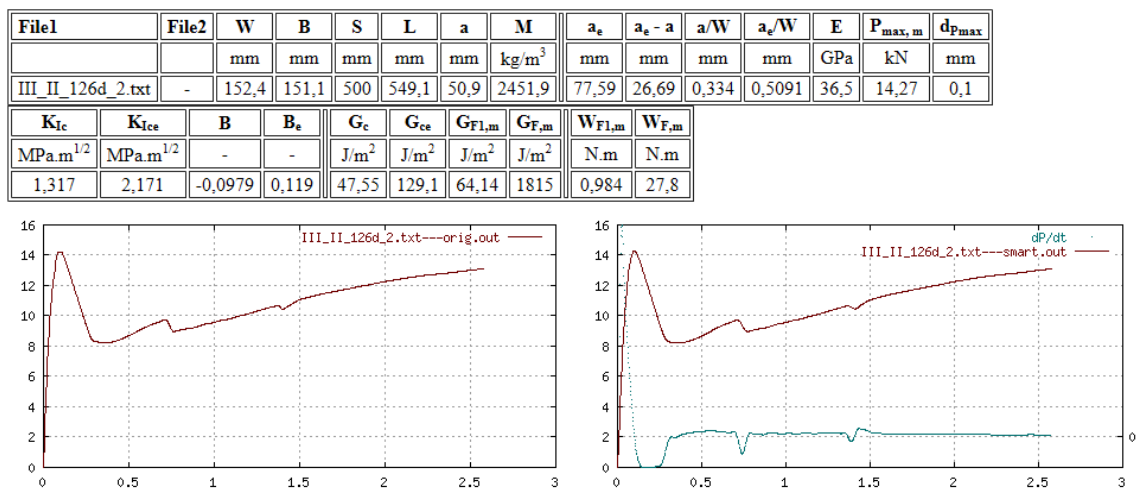


Obr. A.65: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_1

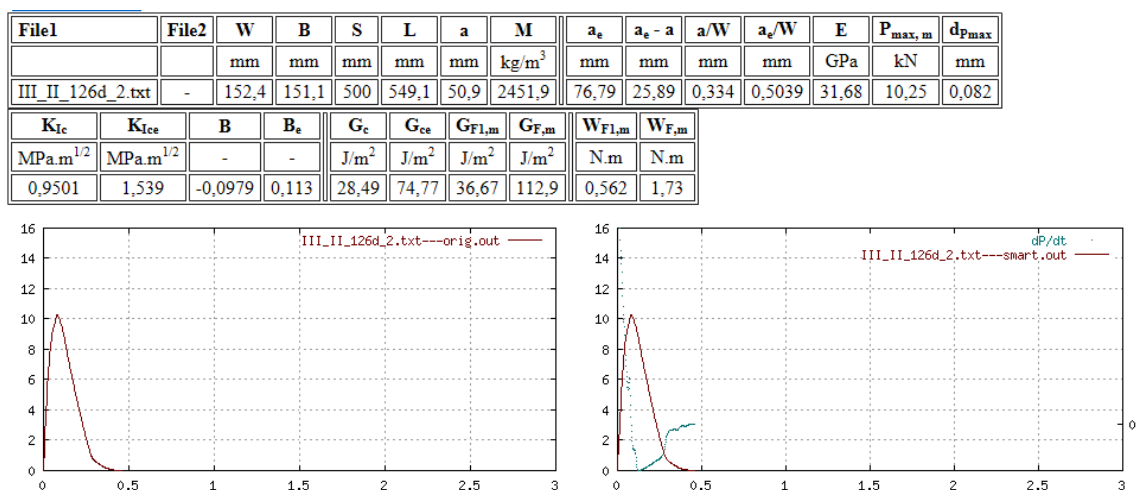
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_126d_1.txt	-	150,2	150,3	500	549,8	49,2	2475	71,17	21,97	0,3276	0,4738	27,85	6,78	0,057
K_{Ic}	$K_{Ic,e}$	B	B_e	G_c	$G_{c,e}$	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,6399	0,9598	-0,104	0,0752	14,71	33,08	16,66	53	0,253	0,805					



Obr. A.66: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_1

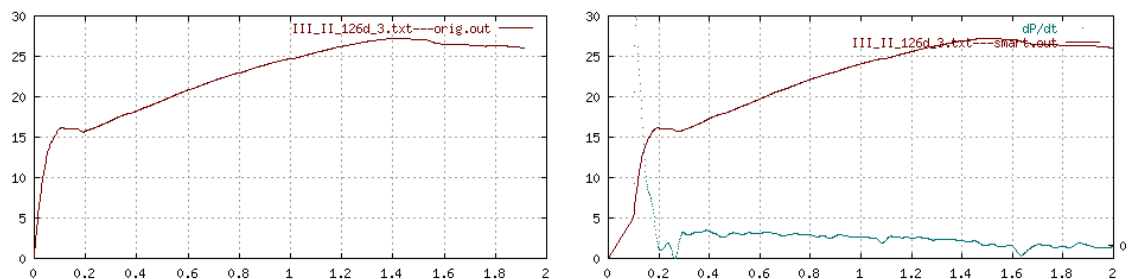


Obr. A.67: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_2



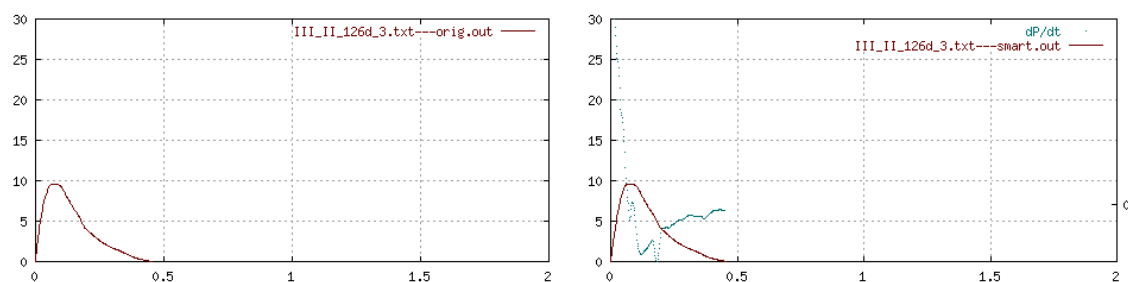
Obr. A.68: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_2

File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_126d_3.txt	-	150,8	150,2	500	550	49,9	2478,2	90,62	40,72	0,3309	0,6009	7,404	27,18	1,5
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
2,535	5,82	-0,101	0,249	867,7	4575	1949	2858	29,5	43,3					

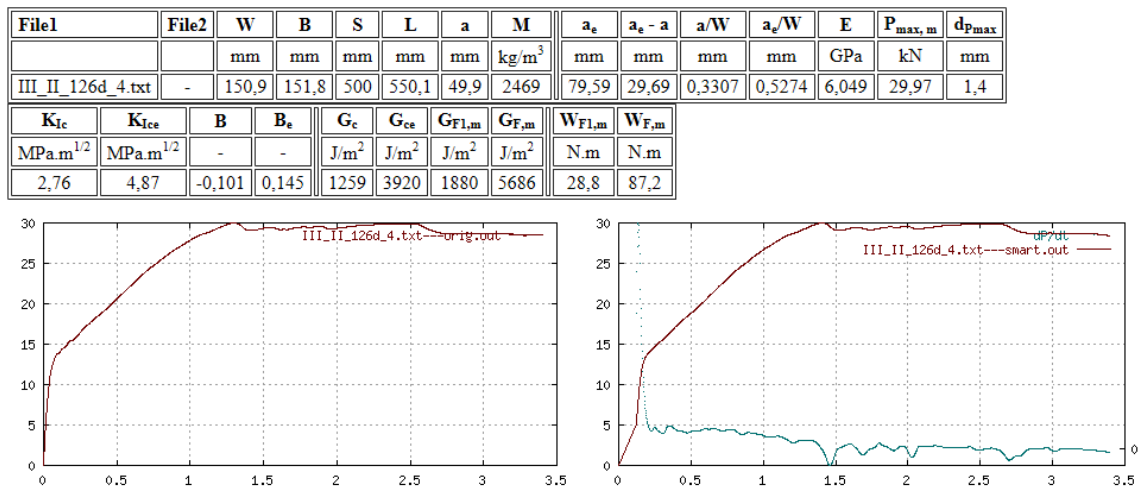


Obr. A.69: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_3

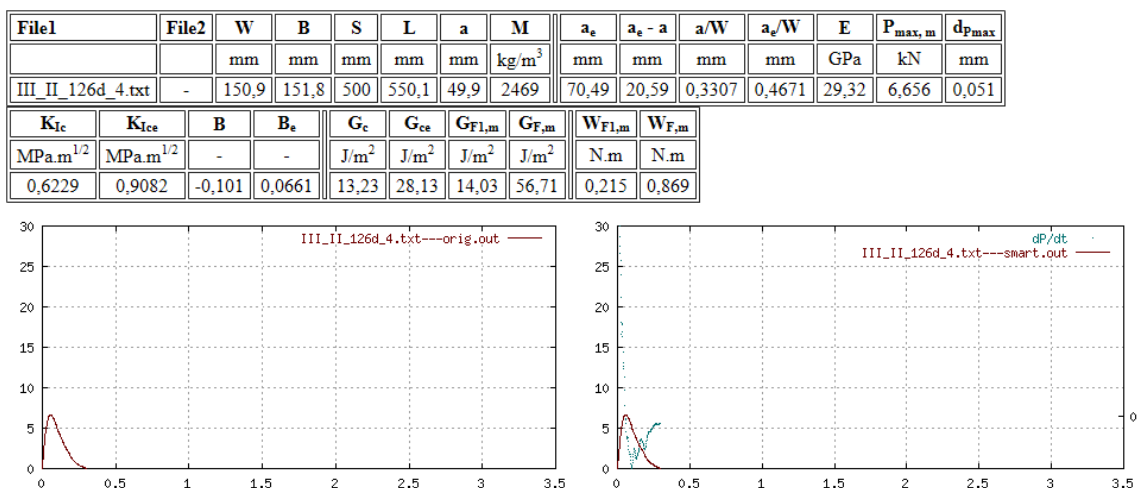
File1	File2	W	B	S	L	a	M	a_e	$a_e - a$	a/W	a_e/W	E	$P_{max,m}$	d_{Pmax}
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm	mm	mm	mm	GPa	kN	mm
III_II_126d_3.txt	-	150,8	150,2	500	550	49,9	2478,2	72,55	22,65	0,3309	0,4811	31,92	9,622	0,072
K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{F1,m}$	$G_{F,m}$	$W_{F1,m}$	$W_{F,m}$					
MPa.m ^{1/2}	MPa.m ^{1/2}	-	-	J/m ²	J/m ²	J/m ²	J/m ²	N.m	N.m					
0,9056	1,377	-0,101	0,0842	25,69	59,4	30,11	118	0,456	1,79					



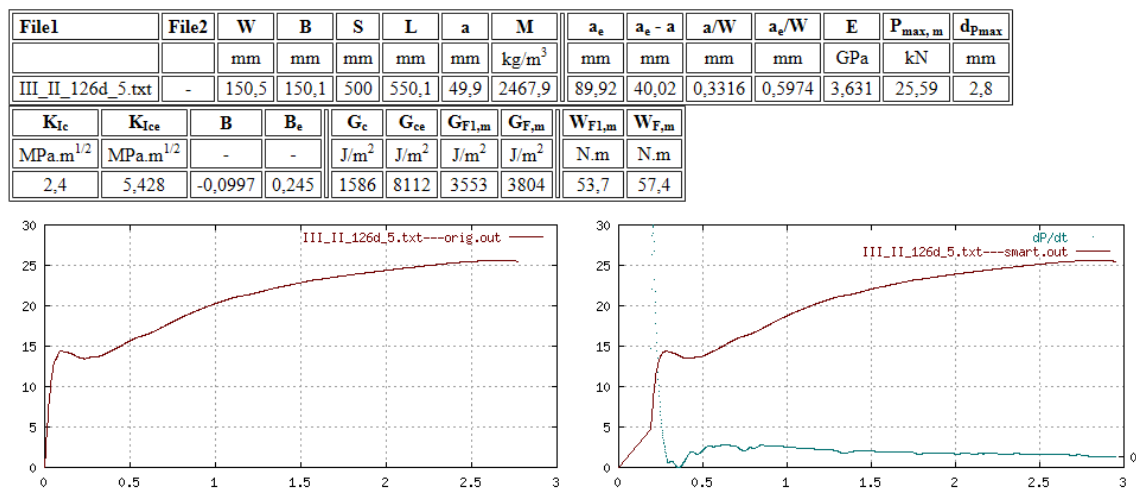
Obr. A.70: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_3



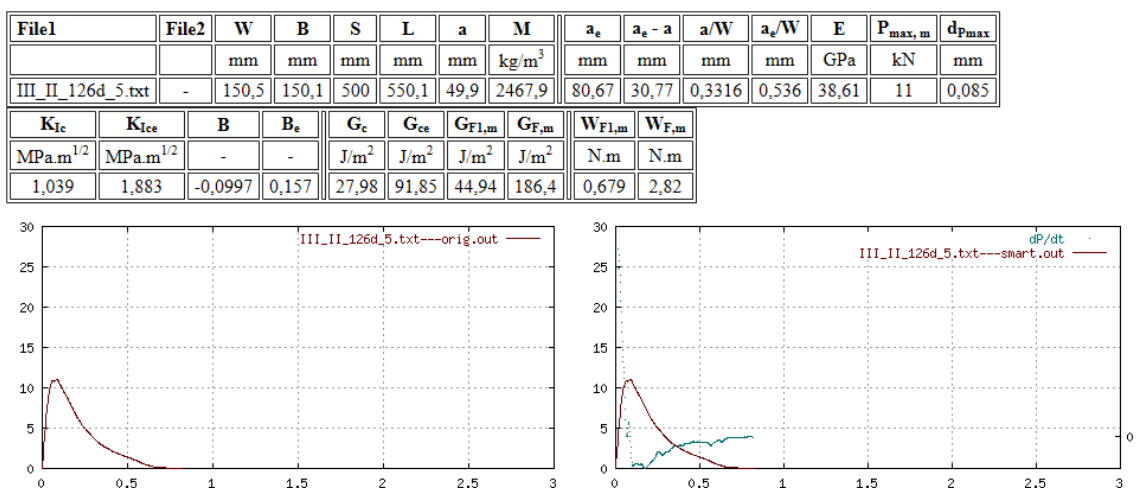
Obr. A.71: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_4



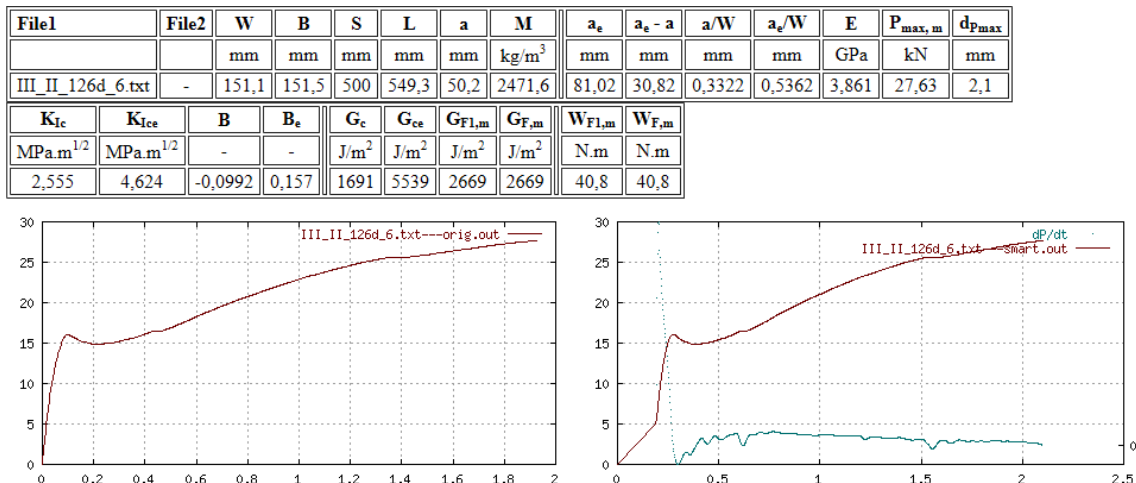
Obr. A.72: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_4



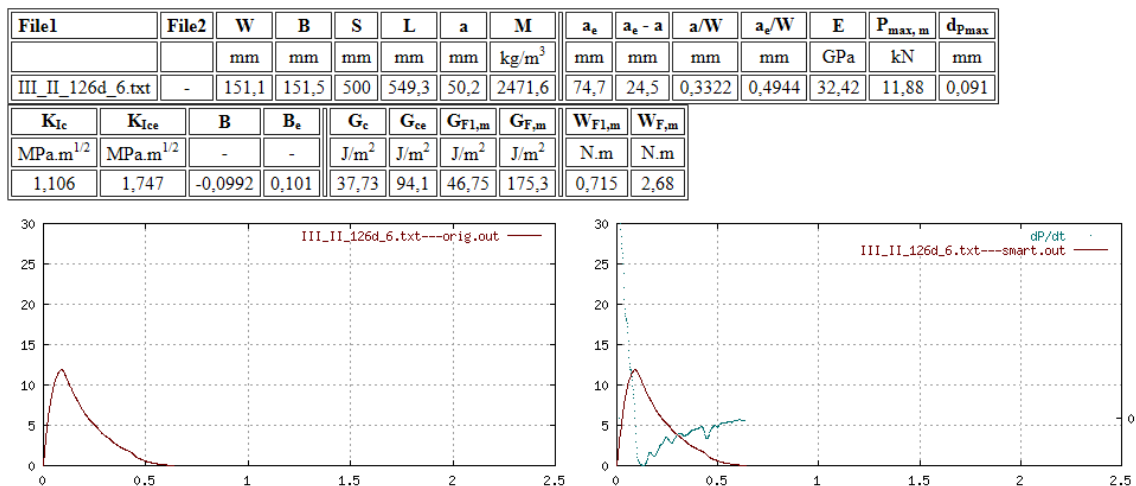
Obr. A.73: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_5



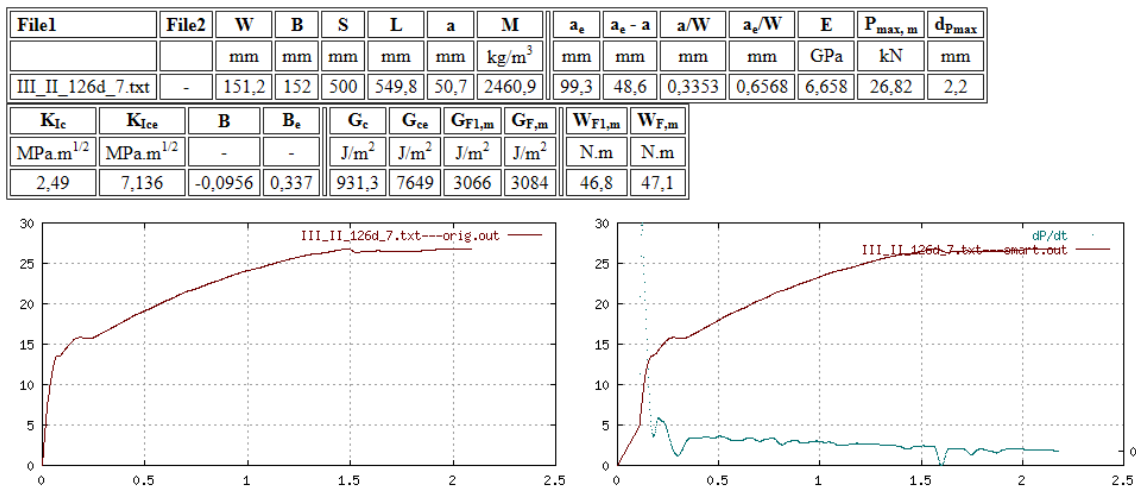
Obr. A.74: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_5



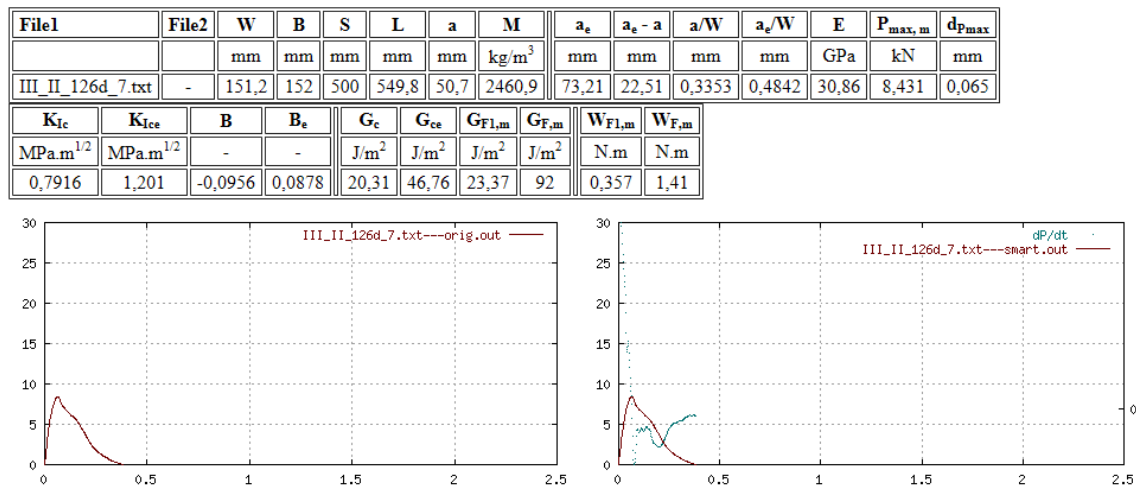
Obr. A.75: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_6



Obr. A.76: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_6



Obr. A.77: Vstupní a výstupní data testu III_II_126d_7



Obr. A.78: Vstupní a výstupní data vlivu matrice testu III_II_126d_7

B TABULKY VÝSLEDKŮ

B.1 Sada III_I_7d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	—	40,5	0,8	2,0
	2	—			
	3	—			
	4	41,5			
	5	40,8			
	6	40,2			
	7	39,6			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	—	1,102	0,107	9,7
	2	—			
	3	—			
	4	1,233			
	5	1,125			
	6	1,075			
	7	0,976			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	—	2408	643	26,7
	2	—			
	3	—			
	4	3108			
	5	1656			
	6	2132			
	7	2736			

Tab. B.1: Výsledky lomových parametrů sady III_I_7d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1				
	2				
	3				
	4	36,4	39,3	2,1	5,4
	5	39,3			
	6	41,3			
	7	40,2			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1				
	2				
	3				
	4	0,974	0,942	0,061	6,5
	5	0,984			
	6	0,958			
	7	0,851			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1				
	2				
	3				
	4	98	125	19	14,9
	5	126			
	6	132			
	7	124			

Tab. B.2: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_7d

B.2 Sada III_I_28d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	37,5	42,6	8,0	18,7
	2	59,5			
	3	36,1			
	4	38,9			
	5	42,3			
	6	44,8			
	7	39,1			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	0,984	1,130	0,124	10,7
	2	1,105			
	3	1,264			
	4	1,098			
	5	1,330			
	6	1,032			
	7	1,095			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	1802	2625	855	32,6
	2	2324			
	3	3366			
	4	3400			
	5	3446			
	6	1291			
	7	2749			

Tab. B.3: Výsledky lomových parametrů sady III_I_28d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	37,0	39,1	9,7	24,8
	2	58,9			
	3	29,2			
	4	32,9			
	5	38,1			
	6	42,4			
	7	35,1			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	0,887	0,889	0,100	11,3
	2	0,902			
	3	0,761			
	4	0,768			
	5	1,051			
	6	0,937			
	7	0,914			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	147	117	31	26,7
	2	108			
	3	89			
	4	64			
	5	145			
	6	138			
	7	128			

Tab. B.4: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_28d

B.3 Sada III_I_28d_W

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	67,3	50,4	8,5	16,8
	2	46,6			
	3	45,6			
	4	49,6			
	5	40,9			
	6	48,6			
	7	54,6			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	1,306	1,230	0,110	8,9
	2	1,207			
	3	1,307			
	4	1,317			
	5	1,020			
	6	1,293			
	7	1,161			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	2222	3172	765	24,1
	2	3542			
	3	3336			
	4	3996			
	5	4087			
	6	2343			
	7	2681			

Tab. B.5: Výsledky lomových parametrů sady III_I_28d_W

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	68,1	47,9	10,5	22,0
	2	39,4			
	3	42,2			
	4	48,2			
	5	39			
	6	43,5			
	7	55,2			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	1,080	0,953	0,090	9,4
	2	0,909			
	3	0,940			
	4	0,983			
	5	0,811			
	6	0,910			
	7	1,040			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	146	140	23	16,4
	2	121			
	3	155			
	4	119			
	5	169			
	6	111			
	7	159			

Tab. B.6: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_28d_W

B.4 Sada III_I_126d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	46,8	47,3	3,6	7,5
	2	46,4			
	3	46,0			
	4	48,8			
	5	42,9			
	6	46,0			
	7	54,4			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	1,257	1,276	0,046	3,6
	2	1,275			
	3	1,333			
	4	1,270			
	5	1,304			
	6	1,189			
	7	1,305			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	2892	2864	939	32,6
	2	2264			
	3	3051			
	4	2303			
	5	4152			
	6	3887			
	7	1496			

Tab. B.7: Výsledky lomových parametrů sady III_I_126d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	43,9	43,7	3,8	8,8
	2	44,0			
	3	41,8			
	4	45,6			
	5	36,9			
	6	44,4			
	7	49,5			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	1,115	1,067	0,100	9,3
	2	1,155			
	3	1,124			
	4	1,140			
	5	0,923			
	6	0,26			
	7	1,087			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	162	142	29	20,5
	2	189			
	3	140			
	4	153			
	5	104			
	6	112			
	7	136			

Tab. B.8: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_I_126d

B.5 Sada III_II_7d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	33,8	36,3	1,9	5,3
	2	36,3			
	3	38,7			
	4	36,8			
	5	37,8			
	6	37,3			
	7	33,7			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	0,940	1,122	0,107	9,5
	2	1,175			
	3	1,140			
	4	1,059			
	5	1,162			
	6	1,094			
	7	1,282			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	3190	2974	710	23,9
	2	2983			
	3	3029			
	4	2842			
	5	1626			
	6	4032			
	7	3114			

Tab. B.9: Výsledky lomových parametrů sady III_II_7d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	31,2	31,5	1,2	3,9
	2	31,7			
	3	33,2			
	4	32,0			
	5	32,3			
	6	30,3			
	7	29,6			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	0,755	0,782	0,067	8,6
	2	0,867			
	3	0,833			
	4	0,741			
	5	0,856			
	6	0,707			
	7	0,719			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	111	96	18	19,2
	2	119			
	3	83			
	4	93			
	5	100			
	6	63			
	7	105			

Tab. B.10: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_II_7d

B.6 Sada III_II_126d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	41,6	39,1	2,3	5,9
	2	37,0			
	3	40,0			
	4	37,6			
	5	42,6			
	6	37,1			
	7	37,9			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	1,405	1,410	0,082	5,8
	2	1,313			
	3	1,509			
	4	1,323			
	5	1,357			
	6	1,490			
	7	1,474			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	2951	3267	1218	37,3
	2	1815			
	3	2858			
	4	5686			
	5	3804			
	6	2669			
	7	3084			

Tab. B.11: Výsledky lomových parametrů sady III_II_126d

		měření [GPa]	\bar{x} [GPa]	s [GPa]	v_k [%]
E	1	27,9	31,8	3,4	10,7
	2	31,7			
	3	31,9			
	4	29,3			
	5	38,6			
	6	32,4			
	7	30,9			
		měření [MPa.m ^{1/2}]	\bar{x} [MPa.m ^{1/2}]	s [MPa.m ^{1/2}]	v_k [%]
K_{Ic}	1	0,640	0,865	0,188	21,7
	2	0,950			
	3	0,906			
	4	0,623			
	5	1,039			
	6	1,106			
	7	0,792			
		měření [J/m ²]	\bar{x} [J/m ²]	s [J/m ²]	v_k [%]
G_F	1	53	113	52	46,2
	2	113			
	3	118			
	4	57			
	5	186			
	6	175			
	7	92			

Tab. B.12: Výsledky lomových parametrů vlivu matrice sady III_II_126d