VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

VÍCEÚROVŇOVÉ HODNOCENÍ KŘEHKOSTI VYBRANÝCH STAVEBNÍCH KOMPOZITŮ

COMPLEX EVALUATION OF BRITTLENESS OF SELECTED BUILDING COMPOSITES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. DENISA MACHAČOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. ZBYNĚK KERŠNER, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. DENISA MACHAČOVÁ
Název	Víceúrovňové hodnocení křehkosti vybraných stavebních kompozitů
Vedoucí diplomové práce **Specialista, konzultant**	prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc. Ing. Jaromír Láník
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

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

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ Fakulta stavební DĚKANÁT -1-

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
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.

Další podklady podle pokynů vedoucího práce.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Studium doporučených podkladů a souvisejících materiálů, průzkum webových zdrojů, orientace v zadané problematice lomu vybraných stavebních materiálů, lomové parametry, aplikace modelu iniciace lomu, vyhodnocení lomových experimentů na betonových tělesech s koncentrátorem napětí, diskuse výsledků, závěrečné shrnutí.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání 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 diplomové práce

Abstrakt CZ

Zadaným tématem diplomové práce je víceúrovňové hodnocení křehkosti stavebních kompozitů. Práce se zabývá posudky lomových parametrů zkušebních těles z lehkého a obyčejného betonu. Zmíněná tělesa se dále odlišovala obsahem vláken v betonových směsích, jejich druhem a délkou. Práce se člení na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část pojímá kompozitní materiály a úvod do lomové mechaniky. V praktické části jsou popsány jednotlivé kroky pro získání lomově-mechanických parametrů pomocí programu StiCrack a Excel Visual Basic. Stěžejní částí práce je vyhodnocení křehkosti rozdílných zkušebních vzorků zohledňující druh betonové směsi a druh vláken.

Klíčová slova

obyčejný beton, lehký beton, iniciace lomu, křehkost, posun, rozevření trhliny (CMOD), lomová houževnatost, lomová energie, lomová práce, iniciace trhliny

Abstract EN

Specified topic of the thesis is a multilevel evaluation of brittleness of selected building composites. The work deals with the opinions of fracture parameters of test specimens of lightweight and ordinary concrete. Specimens further differed fibres content in concrete mixtures, their type and length. The work is divided into two parts, theoretical and practical. The theoretical part conceives composite materials and introduction to fracture mechanics. The practical part describes the different steps for fracture-mechanical parameters evaluation using StiCrack and Excel Visual Basic software. The main part of the work is to evaluate the brittleness of different test specimens, taking into account the type of concrete mix and type of fibres.

Keywords

ordinary concrete, lightweight concrete, fracture initiation, brittleness, deformation, crack mouth opening displacement, fracture toughness, fracture energy, fracture work, crack initiation

Bibliografická citace VŠKP

MACHAČOVÁ, Denisa. *Víceúrovňové hodnocení křehkosti vybraných stavebních kompozitů.* Brno, 2014. 277 s., 186 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2014

……

podpis autorky

Denisa Machačová

Poděkování

Mé poděkování patří v prvé řadě vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Zbyňku Keršnerovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a jeho trpělivost při vytváření diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat paní Ing. Ivaně Havlíkové za pomoc při využívání počítačových programů nezbytných ke zpracování této práce.

V neposlední řadě děkuji všem svým blízkým osobám za psychickou podporu a možnosti studia na vysoké škole.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ **10**
SEZNAM TABULEK **11**
1. ÚVOD **13**
2. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY **14**
3. LOMOVÁ MECHANIKA **16**
3.1 Metody výpočtu LELM 16
3.2 Metody výpočtu EPLM 20
4. LOMOVÁ HOUŽEVNATOST **22**
4.1 Zkoušky rázové houževnatosti 22
4.2 Zkušební tělesa pro statické lomové testy 25
5. LOMOVÉ ZKOUŠKY BETONU S KOVOVÝMI VLÁKNY **26**
5.1 Zkušební tělesa 26
5.2 Postup zkoušky 27
5.3 Výsledky 29
6. STANOVENÍ KŘEHKOSTI VYBRANÝCH STAVEBNÍCH KOMPOZITŮ **31**
6.1 Zkušební tělesa s měřeným posunem $\boldsymbol{d}$ 32
6.2 Zkušební tělesa s měřeným CMOD 40
6.3 Lomově-mechanické parametry 47
7. SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ **79**
8. ZÁVĚR **85**
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ **86**
SEZNAM PŘÍLOH **90**

Seznam obrázků

Obr. 2.1	Rozdělení kompozitních materiálů	12
Obr. 3.1	Graf funkce k (α)	15
Obr. 3.2	Zkušební těleso se zářezem namáhané tříbodovým ohybem	15
Obr. 3.3	Základní lomové módy opening-sliding-tearing	16
Obr. 3.4	Stabilní a nestabilní šíření trhliny	18
Obr. 3.5	Integrál – J	19
Obr. 4.1	Charpyho kladivo – nákres	21
Obr. 4.2	Charpyho kladivo	22
Obr. 4.3	Tříbodový ohyb – zkušební těleso	23
Obr. 4.4	Čtyřbodový ohyb – zkušební těleso	23
Obr. 5.1	Poloha zářezu vyříznutého do zkušebního tělesa před otočením	24
Obr. 5.2a	Typické uspořádání při měření rozevření trhliny CMOD	25
Obr. 5.2b	Typické uspořádání při měření průhybu d	26
Obr. 5.3	Grafy závislosti CMOD na zatížení F_L	28
Obr. 6.1	Graf zkušebního trámce z lehkého betonu s vlákny FF-19 namáhaného tříbodovým ohybem	31
Obr. 6.2	Zvýrazněná oblast chybného měření tělesa z lehkého betonu s obsahem vláken FF-19	31
Obr. 6.3	Graf s vybranou oblastí dat proložený lineární spojnici trendu	32
Obr. 6.4	Posunutý graf s dopočítanými počátečními body	32
Obr. 6.5	Program StiCrack	35
Obr. 6.6	StiCrack s vyplněnými daty a příslušným souborem pro výpočet	36
Obr. 6.7	Výstup programu StiCrack pro výpočet lomové práce W, lomové energie G_F, modulu pružnosti E a dalších lomových charakteristik	37
Obr. 6.8	Vstupní data pro výpočet délky trhlin a_e v programu StiCrack	37
Obr. 6.9	Výstup programu StiCrack pro výpočet délky trhliny a_e	38
Obr. 6.10	Výpočtový program Excel – VB tělesa z LB FF-54 s měřeným CMOD	39
Obr. 6.11	Výstup programu Excel – VB tělesa z LB FF-54, CMOD 0,1 mm	40
Obr. 6.12	Výstup programu Excel – VB tělesa z LB FF-54, CMOD 0,2 mm	40
Obr. 6.13	Výstup programu Excel – VB tělesa z LB FF-54, CMOD 0,3 mm	41
Obr. 6.14	Lomová práce tělesa LB FF-19 vs. posun	41
Obr. 6.15	Lomová práce těles LB FF-19 vs. prodloužení efektivní trhliny	42
Obr. 6.16	Znázornění tzv. velkého trojúhelníku	42
Obr. 6.17	Znázornění tzv. malého trojúhelníku	43
Obr. 6.18	Lomová energie bez tzv. malého trojúhelníku tělesa LB FF-19 T7 m a bez tzv. velkého trojúhelníku tělesa LB FF-19 T7 v pro měřený posun d	44
Obr. 6.19	Lomová energie bez tzv. malého trojúhelníku tělesa LB FF-54 T5 m a bez tzv. velkého trojúhelníku tělesa LB FF-54 T5 v pro měřený CMOD	44
Obr. 8.1	Lomová energie těles z lehkého betonu s měřeným d	77
Obr. 8.2	Lomová energie těles z lehkého betonu s měřeným CMOD	78
Obr. 8.3	Lomová energie těles z obyčejného betonu s měřeným d	79
Obr. 8.4	Lomová energie těles z obyčejného betonu s měřeným CMOD	80
Obr. 8.5	Lomová energie těles z lehkého a obyčejného betonu s měřeným d	80
Obr. 8.6	Lomová energie těles z lehkého a obyčejného betonu s měřeným CMOD	81

Seznam tabulek

Tab. 5.3	Vztah mezi CMOD a δ	27
Tab. 6.0	Tabulka koeficientů regresních funkcí pro daný přepočet posunu *d* na *CMOD* pro lehký a obyčejný beton bez vláken	29
Tab. 6.1	Tabulka rozměrů vzorků z lehkého betonu s obsahem polymerních vláken Forta Ferro délky 19 mm	30
Tab. 6.2	Výpočet hodnoty x_o	32
Tab. 6.3	Vstupní data pro program StiCrack a Excel – Visual Basic LB FF-19	33
Tab. 6.4	Vstupní data pro výpočtový program v Excel – Visual Basic LB FF-54	38
Tab. 6.5	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T1	45
Tab. 6.6	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T3	45
Tab. 6.7	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T5	45
Tab. 6.8	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T7	46
Tab. 6.9	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T8	46
Tab. 6.10	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T9	47
Tab. 6.11	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T1	48
Tab. 6.12	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T3	48
Tab. 6.13	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T8	49
Tab. 6.14	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T2	50
Tab. 6.15	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T3	50
Tab. 6.16	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T5	51
Tab. 6.17	Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T2	52
Tab. 6.18	Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T3	52
Tab. 6.19	Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T6	52
Tab. 6.20	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T1	53
Tab. 6.21	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T4	53
Tab. 6.22	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T6	54
Tab. 6.23	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T1	55
Tab. 6.24	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T2	55
Tab. 6.25	Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T4	55
Tab. 6.26	Lomové charakteristiky tělesa OB REF A1	56
Tab. 6.27	Lomové charakteristiky tělesa OB REF A3	56
Tab. 6.28	Lomové charakteristiky tělesa OB REF A7	56
Tab. 6.29	Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T2	57
Tab. 6.30	Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T3	57
Tab. 6.31	Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T6	57
Tab. 6.32	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F1	58
Tab. 6.33	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F5	58
Tab. 6.34	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F7	59
Tab. 6.35	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E7	60
Tab. 6.36	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E8	60
Tab. 6.37	Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E9	60
Tab. 6.38	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T1	61
Tab. 6.39	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T3	61
Tab. 6.40	Lomové charakteristiky tělesa LB REF T5	61
Tab. 6.41	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T1	62
Tab. 6.42	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T3	62
Tab. 6.43	Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T2	63

Tab. 6.44 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T3 63
Tab. 6.45 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T5 64
Tab. 6.46 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T3 65
Tab. 6.47 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T6 65
Tab. 6.48 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T1 66
Tab. 6.49 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T4 67
Tab. 6.50 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T6 68
Tab. 6.51 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T1 69
Tab. 6.52 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T2 69
Tab. 6.53 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T4 70
Tab. 6.54 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A1 71
Tab. 6.55 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A3 71
Tab. 6.56 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A7 71
Tab. 6.57 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T2 72
Tab. 6.58 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T3 72
Tab. 6.59 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T6 72
Tab. 6.60 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F1 73
Tab. 6.61 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F5 74
Tab. 6.62 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F7 75
Tab. 6.63 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E8 76
Tab. 6.64 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E9 76
Tab. 8.1 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z lehkého betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným d 82
Tab. 8.2 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z lehkého betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným CMOD 82
Tab. 8.3 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z obyčejného betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným d 82
Tab. 8.4 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z obyčejného betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným CMOD 82

1. Úvod

Kompozity představují materiály, které jsou tvořeny ze dvou či více složek. Tyto dílčí složky mají různé vlastnosti a společně vytvářejí nový produkt s novými vlastnostmi, kterých by nedosáhla žádná ze samotných složek.

Jedním z nejpoužívanějších stavebních kompozitních materiálů je beton, resp. železobeton či předpjatý beton, jehož složky jsou ztvrdlá cementová pasta, kamenivo a případně výztuž. Výhody těchto kompozitních materiálů tkví v nižší hmotnosti oproti samotným ocelovým prvkům, v ohnivzdornosti, v nízké nedeformovatelnosti a ve stabilitě.

Pokud výztuž ve zmíněných kompozitech tvoří vlákna, hovoří se o vláknových kompozitech. Matrice představuje složku, která zaručuje stabilizaci vláken. Dále zajišťuje přenos zatížení kompozitu a chrání vlákna před vnějšími vlivy. (WIKIPEDIA, *Kompozitní materiál*. [online], [5]).

Při navrhování stavebních konstrukcí je důležité znát chování materiálů v okamžiku, než dojde k jejich porušení. Tyto informace nám pomohou lépe zhodnotit skutečnou výši odolnosti proti vyčerpání únosnosti. Z tohoto hlediska dělíme materiály na houževnaté a křehké. Protikladem houževnatosti je tedy křehkost. Houževnaté materiály před destrukcí vykazují značné deformace. Tím lze zamezit havárii konstrukce, jelikož signalizují přetížení. Materiály křehké se porušují náhle bez jakýchkoliv viditelných přetvoření.
(VYMAZAL, T., *Struktura a vlastnosti stavebních hmot.* [online], [6]).

Záměrem diplomové práce je zhodnocení křehkosti vybraných stavebních kompozitů na několika úrovních. Cílem této práce je určení řady lomově-mechanických parametrů, jako je např. lomová práce, lomová houževnatost a lomová energie a také porovnání těchto hodnot pro tělesa z obyčejného a lehčeného betonu, který neobsahuje žádná vlákna nebo vlákna různých délek a druhů. Učinit přehled lomových parametrů, které lze získat z testů zkušebních těles. Ověřit, do jaké míry mohou dosavadní programy pro výpočet lomových charakteristik zastoupit měření zkušebních těles v laboratořích.

Výsledkem této práce jsou podrobně vyhodnoceny lomově-mechanické parametry pro vybraná zkušební tělesa z lehkého a obyčejného betonu. Celkem bylo vyhodnoceno 11 zkušebních vzorků. Každá sada těles daného složení byla vyhotovena a testována ve 3 vzorcích, u kterých byly měřeny závislosti zatížení versus posun d a $CMOD$.

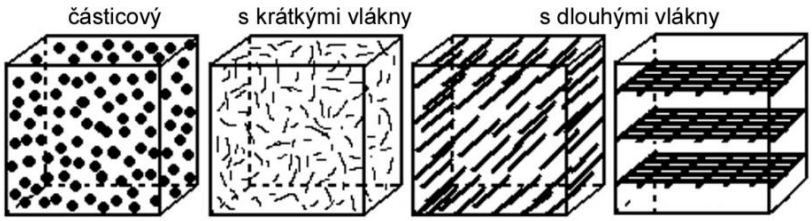
2. Kompozitní materiály

Jak už bylo zmiňováno v úvodu, kompozity jsou složeny ze dvou či více odlišných složek. Jejich spojením dochází k získání vlastností, kterých by samotné komponenty nedosáhly. Pro kompozitní materiály je charakteristický tzv. synergismus, což znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Existence synergického efektu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností. (*Kompozitní materiály.* [online], s. 1 [7]).

Kompozitní materiály lze členit podle skupiny kritérií. Ve většině případů dělíme kompozity dle geometrie tvaru výztuže a podle povahy matrice.

Z hlediska geometrického tvaru výztuže dělíme kompozity následujícím metodou:

- částicové – sférické částice (izometrické)
  – destičkovité částice (anizometrické)
- vláknové – s krátkými vlákny
  – s dlouhými vlákny



Obr. 2.1: Rozdělení kompozitních materiálů
(*Kompozitní materiály.* [online], s. 5 [7])

U částicových kompozitních materiálů nepřesahuje jeden rozměr výztuže ostatní rozměry. Částice mívají poté tvar destičkovitý, tyčinkovitý, kulovitý a nepravidelný. U vláknových kompozitů jsou vlákna neboli tvary výztuže v jednom směru výrazně rozměrnější než v ostatních směrech. Kompozity s krátkými vlákny mají délku vláken výrazně menší než je rozměr výrobku. Naopak kompozitní výrobky s dlouhými vlákny mají vlastní délku vláken srovnatelnou s rozměrem výrobku. Uspořádání dlouhých vláken je znázorněno na Obr. 2.1, kde v první variantě jsou uspořádány v jednom směru. V druhé variantě jsou kontinuální vlákna spletena do tzv. rohoží, čímž se vytváří vrstevnatá struktura.

Podle povahy matrice dělíme kompozity následujícím způsobem:

- s kovovou matricí (metal matrix composites – MMCs)
- s polymerní matricí (polymer matrix composites – PMCs)
- s keramickou matricí (ceramic matrix composites – CMCs)
- se skleněnou matricí
- s uhlíkovou matricí

(*Kompozitní materiály.* [online], [7]).

Při výrobě kompozitních materiálů je důležité vhodně zvolit množství vláken, druh vláken a odpovídající technologii výroby, která je často složitější než při výrobě betonu. I přes tyto komplikace vlákna významně eliminují vznik trhlin v betonu. Každý cementový kompozit se v průběhu vysychání smršťuje. Není-li tomuto procesu bráněno, hovoříme o volném smrštění. V důsledku smršťování dojde k překročení tahové pevnosti materiálu a tím dojde ke vzniku trhlin. Pokud se trhlina významně rozšiřuje, spojuje, dochází ke vzniku větších významnějších poruch, které mohou způsobit destrukci konstrukce. Z tohoto hlediska je nutné zabránit vzniku trhlin ve všech směrech materiálu.

Pro omezení objemových změn cementové matrice a tím zabránění vzniku trhlin se používají vlákna s vysokou jemností, kdy modul pružnosti vláken by měl být vyšší než modul pružnosti matrice. Všesměrně nesoustředěná vlákna zvyšují houževnatost a odolnost materiálu proti vzniku a šíření trhlin. Pro zvýšení pevnosti betonu jsou používána vlákna kovová a syntetická.

Délka a tvar vláken mají významný vliv na reologické vlastnosti betonu. Použití vláken v lehkých betonech přináší další možnosti, jak vyrobit kvalitní beton se znamenitými tepelněizolačními vlastnostmi, s výbornými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, s poměrně vysokými hodnotami pevnosti v tlaku, tahu za ohybu a statickým modulů pružnosti. Při použití vláken dochází ke snížení objemových změn, které se projevují ve zlepšení kvality a trvanlivosti betonu. (HUBERTOVÁ, M., HELA, R., *Úvod do technologie vláknobetonů.*[online]. [8]).

3. Lomová mechanika

Lomová mechanika je vědní obor, který se zabývá popisem trhlin, jejich šíření materiálem, problematikou lomů křehkých materiálů apod. Materiály již na počátku zatěžovacího procesu obsahují drobné defekty vzniklé během výroby. Při postupném zatěžování se tyto drobné poruchy mohou začít zvětšovat, vzájemně se propojovat a jejich růst může vést až k úplnému porušení materiálu a případně ke zřícení celé konstrukce.

Lomovou mechaniku lze dělit na dvě základní části:

- Lineární elastická lomová mechanika (LELM) – Nejstarší vědní obor lomové mechaniky, který tvoří základ dalších lomových teorií. Lineární závislost mezi napětím a deformací tj. platnost Hookeova zákona v oblasti blízko u kořene trhliny. Hlavní metoda výpočtu je koncepce faktoru intenzity napětí K. Další metody jsou hnací síla trhliny, K-T koncepce.
- Elasticko-plastická lomová mechanika (EPLM) – Používá se tam, kde nelze použít LELM. Tato větev lomové mechaniky se používá hlavně u houževnatých materiálů. Oblast kořene trhliny musí být doprovázena vznikem aspoň malé plastické deformace. Při větší plastické oblasti je nutno použít metodu ELPM, jelikož při použití lineární elastické lomové mechaniky dochází k nepřesnosti výsledků. Tato metoda je založena na energetické bilanci a používá křivkový J-integrál, koncepce rozevření trhliny, případně J–R křivky.

3.1 Metody výpočtu LELM

Faktor intenzity napětí

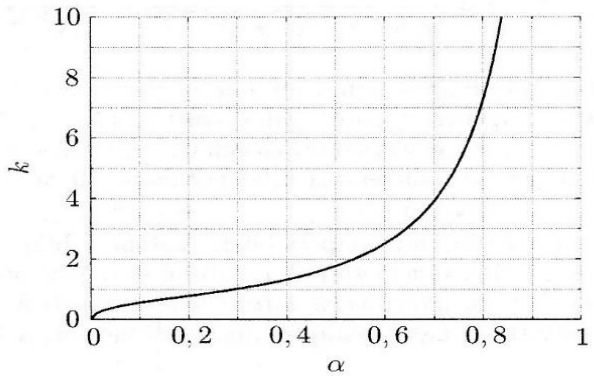
V roce 1957 G. R. Irwin definoval faktor intenzity napětí, který umožňuje porovnat, jak s velkou intenzitou je kořen trhliny namáhán.

Pro tříbodový ohyb nosníku se zářezem se faktor intenzity napětí určí podle vzorce K_I s využitím funkce geometrie $k(\alpha)$.

$$K_I = \frac{3FL}{2th^{\frac{3}{2}}} k\left(\frac{a}{h}\right)$$

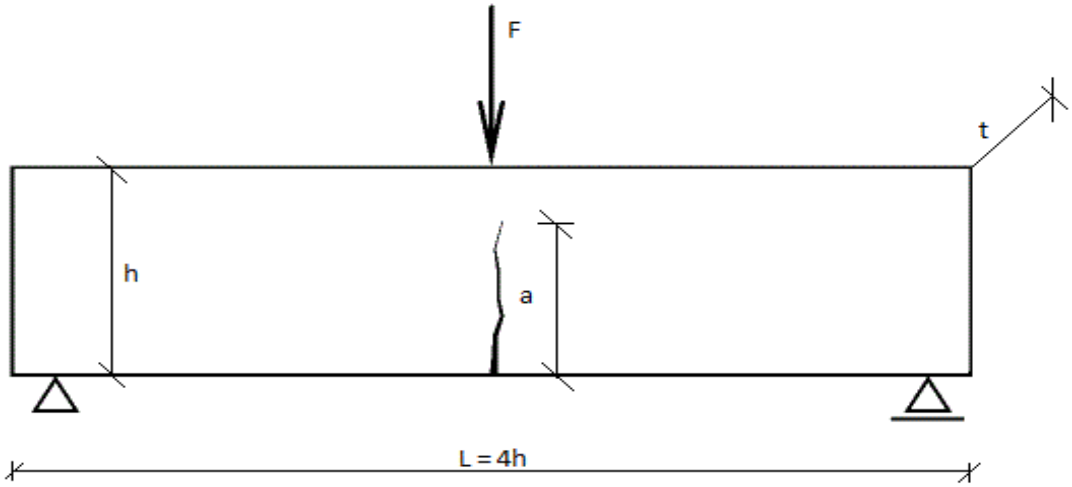
$$k(\alpha) = \frac{1{,}9 + \alpha[0{,}089 - 0{,}603(1-\alpha) + 0{,}441(1-\alpha)^2 - 1{,}223(1-\alpha)^3]}{(1+2\alpha)(1-\alpha)^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\alpha}$$

Tento výpočet dává chybu menší než 0,5 % pro všechny délky trhlin a od 0 až po výšku tělesa h. Graf funkce k vynesené na obr. 3.1 udává, jak při určitém zatížení a rozměrech zkušebního vzorku závisí faktor intenzity napětí na délce trhliny. Je pochopitelné, že při nulové délce trhliny je $K_I = 0$, pro velmi krátké trhliny K_I narůstá úměrně a pro trhliny procházející přes celou výšku roste faktor intenzity napětí nad všechny meze.



Obr. 3.1 Graf funkce k (α)

Uvedený vzorec platí pro zkušební tělesa, která mají délku zkušebního tělesa L rovnou čtyřnásobku výšky h tělesa.



Obr. 3.2 Zkušební těleso se zářezem namáhané tříbodovým ohybem

Rozdělení napětí lze definovat pomocí faktoru intenzity napětí pro jednotlivé módy zatěžování. Mód zatěžování tělesa je způsob namáhání tělesa s trhlinou. Tyto způsoby namáhání dělíme na tahový mód, tj. mód I, rovinný smykový mód, tj. II a anti rovinný mód tj. mód III. Tahový mód představuje růst trhliny řízenou tahovou složkou $\boldsymbol{\sigma_y}$ tenzoru napětí.

Rovinný smykový mód odpovídá růstu trhliny smykovou složkou $\boldsymbol{\tau_{xy}}$ tenzoru napětí. Mód III je růst trhliny řízený tahovou složkou $\boldsymbol{\tau_{yx}}$ tenzoru napětí. Za rovinné napjatosti nebo rovinné deformace dochází ke kombinaci dvou módů I a II.

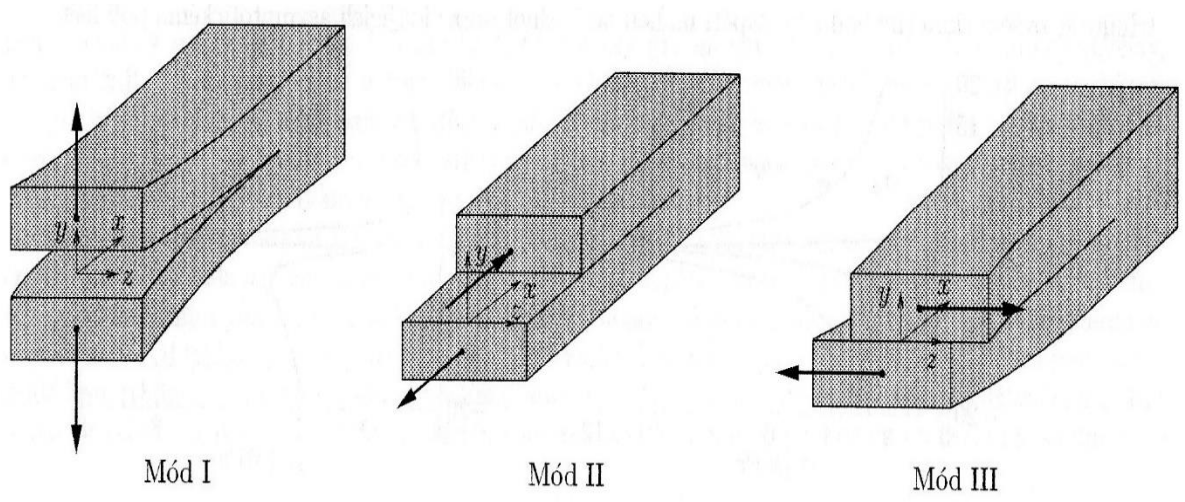
Faktor intenzity napětí *K* lze definovat pro jednotlivé módy dle následujících vztahů

$$K_I = \sigma(\pi \cdot a)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_{II} = \tau(\pi \cdot a)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_{III} = \tau(\pi \cdot a)^{\frac{1}{2}}$$

Faktor intenzity napětí se udává v jednotkách $Pa \cdot \sqrt{m} = N \cdot m^{-2} \cdot m^{\frac{1}{2}} = N \cdot m^{\frac{-3}{2}}$, případně v jejich násobcích. σ představuje tahové napětí, τ zastupuje smykové napětí a a je délka trhliny. (JIRÁSEK, M., ZEMAN, J., *Přetváření a porušování materiálů – dotvarování, plasticita, lom a poškození.* Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2010, s. 111 - 117, [1].)



Obr. 3.3 Základní lomové módy „opening – sliding – tearing“ (JIRÁSEK, M., ZEMAN, J., Přetváření a porušování materiálů – dotvarování, plasticita, lom a poškození. [1])

Hnací síla trhliny

Hnací sílu trhliny je možné definovat podle Griffithova kritéria křehkého lomu. Nestabilní šíření trhliny může nastat v případě, pokud energie potřebná pro rozšíření trhliny o přírůstek $\boldsymbol{da}$ bude doplněna z příslušného systému tělesa s trhlinou. Energie pro šíření trhliny

může být dodávána prací vnějších sil $\boldsymbol{A}$ nebo částí elastické deformační energie $\boldsymbol{U}$, která je uvolňována při šíření trhliny. Energetickou bilanci tělesa s trhlinou, které je zatíženo vnějšími silami je možné vyjádřit podle následujícího vztahu

$$\boldsymbol{W_v = -A + U + W\gamma}$$

kde $\boldsymbol{Wv}$ zastupuje celkovou energii tělesa, $\boldsymbol{A}$ práci vnějších sil, $\boldsymbol{U}$ deformační energii tělesa, $\boldsymbol{W\gamma}$ je disipační energie trhliny, tj. energie potřebná pro vznik trhliny. Pro výpočet je potřeba znát vzorec disipační energie trhliny,

$$\boldsymbol{W_\gamma = \frac{\gamma \cdot S}{B}}$$

kde γ zastupuje specifickou energii trhliny, $\boldsymbol{S}$ velikost lomové plochy, $\boldsymbol{B}$ tloušťku tělesa. Specifická energie trhliny se určí podle následujícího vztahu,

$$\boldsymbol{\gamma = 2 \cdot \gamma_0 + \gamma_{pl} + \gamma_t + \gamma_k}$$

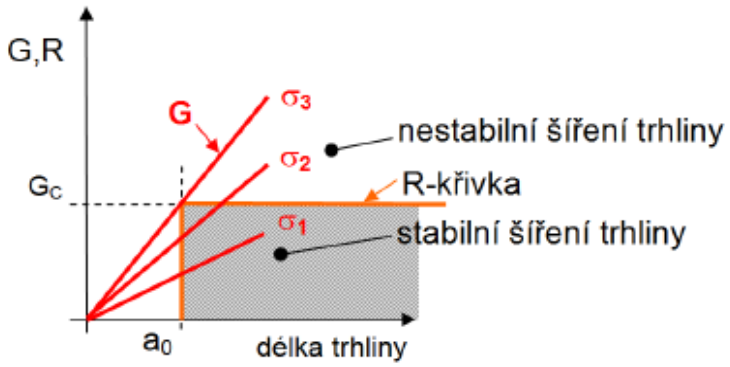
kde $\boldsymbol{\gamma_0}$ je specifická potenciální povrchová energie, $\boldsymbol{\gamma_{pl}}$ specifická potenciální energie plastické deformace, $\boldsymbol{\gamma_t}$ specifické teplo uvolněné na čele trhliny, $\boldsymbol{\gamma_k}$ specifická kinetická energie nejbližšího okolí čela trhliny. Hnací síla trhliny je poté dána vztahem

$$\boldsymbol{G = \frac{da}{d}(U - A)}$$

Ztráta stability nastane u tělesa, pokud celková energie tělesa dosáhne svého maxima.

$$\boldsymbol{\frac{d}{da}(A - U) = \frac{dW_\gamma}{da}}$$

Levý člen rovnice představuje hnací sílu trhliny – $\boldsymbol{G}$ a pravý člen zastupuje odpor tělesa proti šíření trhliny – $\boldsymbol{R}$. Aby nedocházelo ke ztrátě stability, je vymezena podmínka stability trhliny $\boldsymbol{G = R}$.



Obr. 3.4 Stabilní a nestabilní šíření trhliny (RŮŽIČKA, M., JURENKA, J., HRUBÝ, Z., Pevnost a životnost Jur I., [online], [9])

(RŮŽIČKA, M., JURENKA, J., HRUBÝ, Z., *Pevnost a životnost Jur I.,* [online], [9]).

3.2 Metody výpočtu EPLM

J-integrál

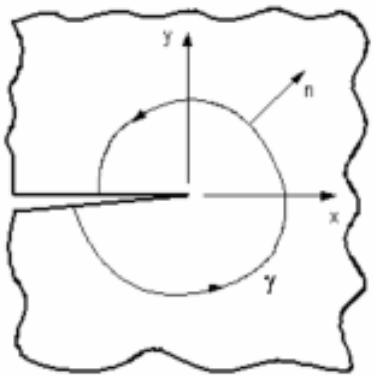
Tento integrál je založený na zjišťování lomové houževnatosti tělesa, které obsahuje trhlinu pomocí energetického principu. Podstatou je zjištění změny potenciální energie v okolí trhliny, která je při nestabilitě trhliny analogická se změnou uvolněné energie deformace. J- integrál lze určit experimentálně nebo výpočtem. Při experimentálním stanovení J-integrálu se zaznamenává závislost mezi silou $\boldsymbol{F}$ a průhybem tělesa tříbodového ohybu $\boldsymbol{w}$.

Podle HUTAŘ, P., NÁHLÍK, L. ([online], [10]) zastupuje zobecněnou hnací sílu trhliny, zároveň umožňuje použití i v plastické deformaci většího rozsahu. J-integrál určíme z práce vnějších sil, které působí na těleso $\boldsymbol{A}$ a z deformační energie tělesa $\boldsymbol{U}$.

$$\boldsymbol{J = \frac{d}{da}(A - U)}$$

J-integrál je definovaný jako křivkový integrál nezávislý na integrační cestě. Integrační cesta kolem kořene trhliny – $\boldsymbol{\gamma}$, hustota deformační energie – $\boldsymbol{W}$, vektor síly ve směru osy x, y vektoru vnější normály k integrační cestě $\boldsymbol{\gamma}$ – $\boldsymbol{n_x}$, $\boldsymbol{n_y}$, složky posuvů – $\boldsymbol{u_x, u_y}$ a délka integrační ($\boldsymbol{t_x = \sigma_x n_x + \sigma_{xy} n_y}$, $\boldsymbol{t_y = \sigma_y n_y + \sigma_{xy} n_x}$), složky napětí – $\boldsymbol{\sigma_x, \sigma_y}$, složky jednotkové cesty $\boldsymbol{s}$.

$$J = \int_{\gamma} W dy - \int_{\gamma} \left(t_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + t_y \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) ds$$



Obr. 3.5 Integrál – J (HUTAŘ, P., NÁHLÍK, L., Elasto-plastická lomová mechanika, J – integrál, [online], [10])

Koncepce rozevření trhliny – CMOD

CMOD vychází z podmínky, že se trhlina začne nestabilně šířit v okamžiku, kdy plastická deformace v kořeni trhliny dosáhne kritické hodnoty. Cílem této koncepce je nalézt kritické otevření trhliny a určit kritickou hodnotu napětí dle vzorce,

$$\sigma_{kr} = \sqrt{\frac{E \cdot R_e \cdot \delta_c}{\pi \cdot c}}$$

R_e – mez kluzu materiálu, δ_c – kritické otevření trhliny, E – modul pružnosti, c – poloviční délka trhliny. Pokud známe kritické hodnotu rozevření trhliny, lze spočítat kritické otevření trhliny a následně i kritické napětí pro šíření trhliny v daném matriálu.

4. Lomová houževnatost

Rozlišujeme lomy houževnaté, křehké a kvazikřehké. Křehký lom se vyznačuje menší spotřebou energie, velkou rychlosti šíření trhliny. Lom je kolmý na normálové napětí, je bez plastické deformace a nastává při menším napětí, než je mez kluzu. Vznik křehkého lomu ovlivňují faktory jako je např. koncentrace napětí, velká tloušťka prvku, dynamické a rázové namáhání, nízké teploty a patrně přítomnost vrubu a vad. Tvárný neboli houževnatý lom je typický větší spotřebou energie, výraznými plastickými deformacemi. Vysokou houževnatostí se vyznačují prvky, které se porušují houževnatým lomem, jako jsou např. plastické kovy a slitiny.

Vzniku lomu lze popsat čtyřmi body. První bod je změna nechanických vlastností. Nejčastěji se mění hustota a konfigurace poruch a tím i fyzikální a mechanické vlastnosti. V druhém stádiu nastane nukleace. Trhliny vzniknou většinou na volném povrchu tělesa a to v místech koncentrace plastické deformace. Nukleace trhliny vznikne při překročení mezního lokálního napětí. Po nukleaci dochází k šíření trhlin. Toto stádium se lokalizuje do malého objemu materiálu. Poslední fáze je výsledkem šíření trhlin, které oslabily průřez. Pokud trhlina dosáhne kritickou velikost, dojde k náhlému lomu. V lomové ploše je viditelné ohnisko lomu a růstové čáry.

Lomová houževnatost je materiálová charakteristika vyjádřená kritickou hodnotou součinitele intenzity napětí – K_{Ic}. Vyjadřuje také odpor materiálu proti křehkému lomu za přítomnosti ostré trhliny. Poskytuje citlivé kvalitativní ocenění materiálu a zjištění lomového napětí v závislosti na velikosti trhliny. Lomová houževnatost se zkouší třemi způsoby. První způsob je postupné zatěžování zkušebního tělesa, které je opatřeno vrubem a trhlinou prodlouženou únavovým defektem. Další metoda zkoušení je tříbodovým ohybem zkušebních vzorků nebo excentrickým tahem až do lomu za dané teploty. (VOJTĚCH, D., NOVÁK, P., *Fyzikální degradace materiálů.* [online], [11])

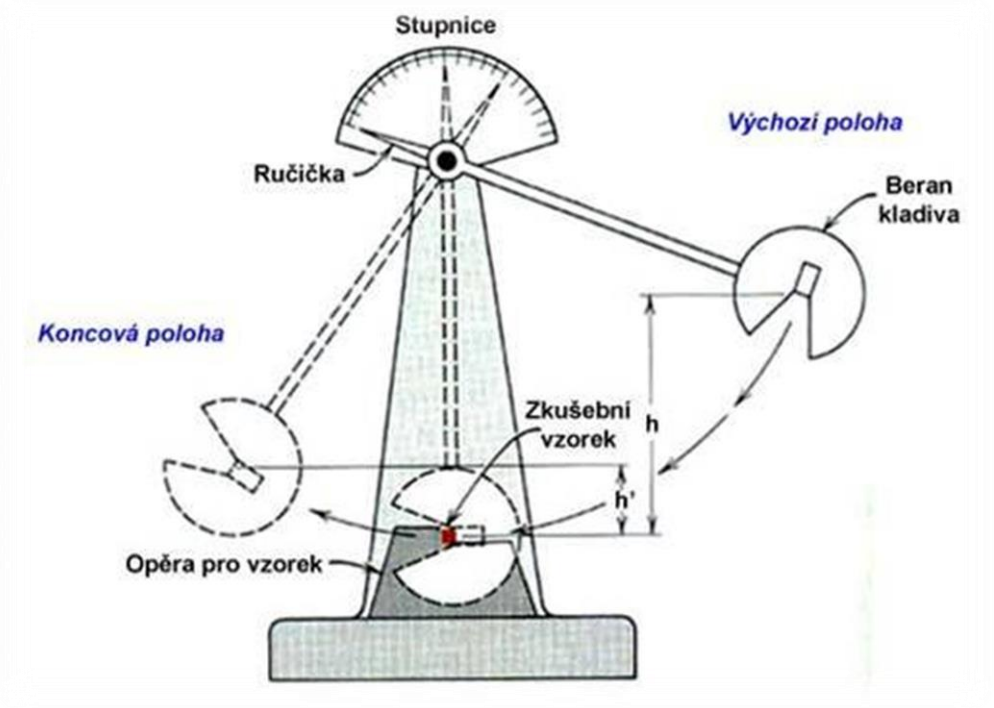
4.1 Zkoušky rázové houževnatosti

Rázové působení síly je velmi nebezpečné, neboť působením této síly může vzniknout destrukce materiálu. Při statickém zatížení nedochází k těmto defektům. Lom, který vznikne působením rázové síly, má ve své blízkosti pouze malé deformace. Naopak u statického zatížení, se projeví růst deformace před lomem. Zkoušky rázem popisují chování materiálu při zvětšujícím se namáhání.

Rázové zkoušky dělíme podle způsobu namáhání:

- rázové zkoušky v tahu a v tlaku
- rázové zkoušky v ohybu
- rázové zkoušky v krutu

Rázová zkouška v ohybu má největší význam. Tato zkouška je používána zejména u ocelí. Ocel je významná vysokou houževnatostí, proto je zkušební těleso opatřeno vrubem. Při úderu dochází ke koncentraci napětí a vzniká oblast složité napjatosti, a tím se také rozvíjí větší pravděpodobnost křehkého porušení zkoušeného tělesa. Rozměry zkušebních těles jsou dány normou, z důvodu porovnávání výsledků. U rázové zkoušky je důležitý způsob uložení zkušebního tělesa. Těleso, které je uloženo na dvou podporách označujeme jako zkoušku podle Charpyho. Vzorek, který je uchycený letmo označuje zkoušku podle Izoda.



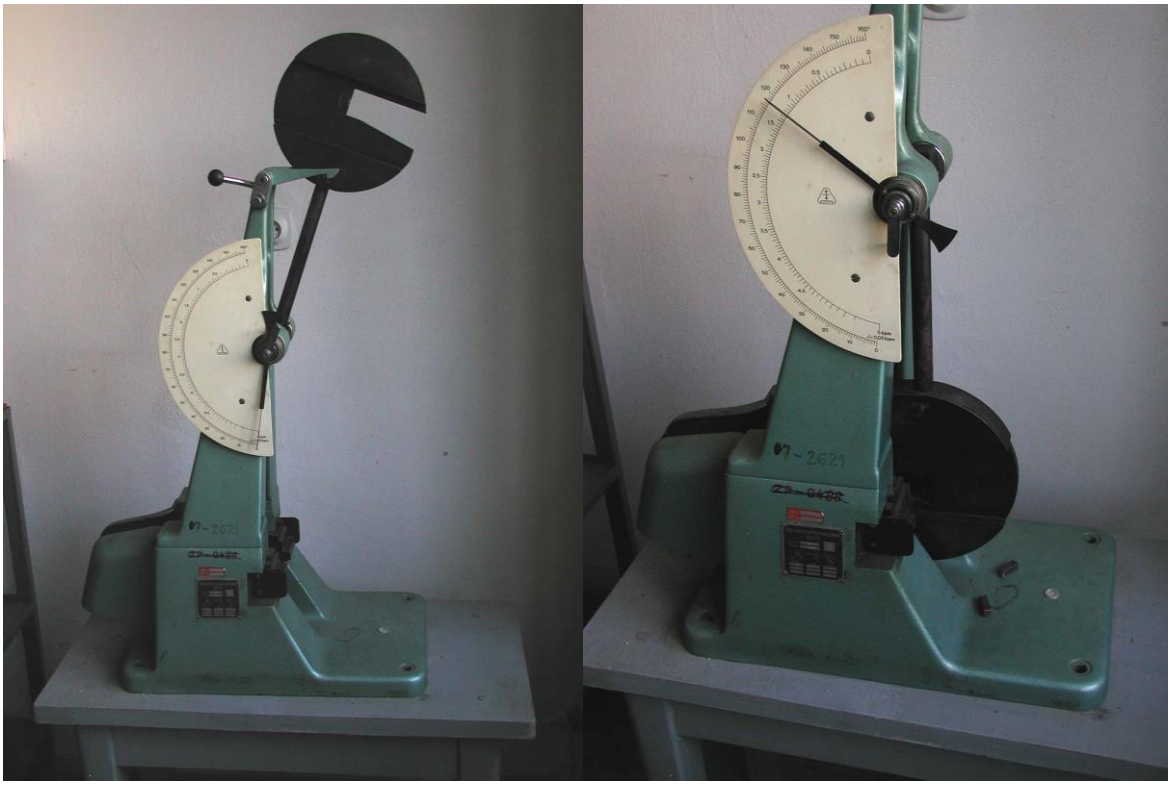
Obr. 4.1 Charpyho kladivo – nákres
(Vybrané vlastnosti vrstvených ocelí, Zkoušky mechanických vlastností, [online], [12])

Zkouška vrubové houževnatosti $KC = K/So$ [J/cm^2] se vyjadřuje jako práce, která je potřebná k přeražení zkušebního vzorku a ta by se měla rovnat k deformovanému objemu. Nevýhodou je, že se vztahuje k velikosti původního průřezu v místě vrubu. Existuje mnoho vlivů, které ovlivňují vrubovou houževnatost, jako je např. způsob namáhání, stav napjatosti, tvar a rozměry

tyče – dle ČSN, tvar a rozměry vrubu – dle ČSN, jakost povrchu, velikost zrna, teplota a mnoho dalších.

Výhody této zkoušky spočívají v její jednoduchosti, možnost porovnání různých stavů vybraného materiálu, ekonomická a časová nenáročnost, srovnání více materiálu najednou, možnost měření při pokojové teplotě, nebo ve více teplotách. Nevýhodou je malá plocha pro vyhodnocení a posouzení charakteru lomu.

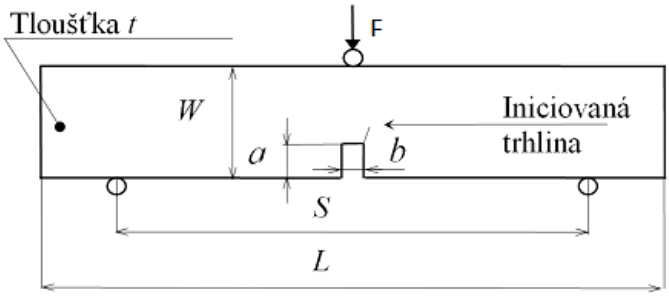
Existují také zkoušky založené na přechodové teplotě. Výhody těchto zkoušek spočívají ve stanovení teploty, ve které nemůže nastat nestabilní šíření trhliny a korelace parametrů zkoušek a skutečných podmínek. Vyskytuje se i mnoho nevýhod, které odrazují od použití těchto zkoušek. Tato testování nelze aplikovat na materiály, které přecházejí z houževnatého stavu do křehkého stavu. Odolnost proti křehkým porušením není vyjádřena příslušným napětím, které by pomohlo při dimenzování konstrukcí. (*Zkoušky lomové houževnatosti*, [online], [13]).



Obr. 4.2 Charpyho kladivo
(Vrubová zkouška houževnatosti rázem v ohybu,[online], [14])

4.2 Zkušební tělesa pro statické lomové testy

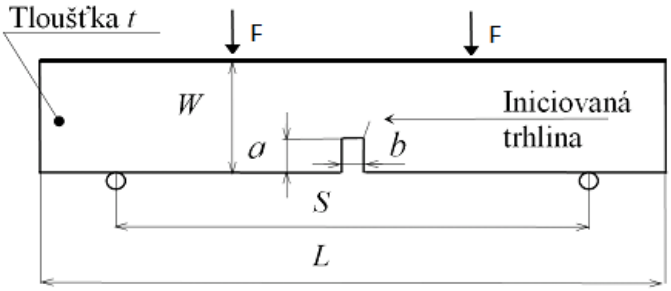
Zkušební těleso pro zkoušku tříbodovým ohybem je nejčastěji obdélník se zářezem. Toto těleso je podepřeno dvěma válečky, jejichž vzdálenost je rovna čtyřnásobku šířky tělesa. Podpory vzorku musí být vyrobeny tak, aby minimalizovali tření a umožnili rotaci a posuny válečkových podpor v době zkoušky. Podpory se musí umístit do společné osy a zaznamená se jejich vzdálenost. Zkušební těleso je umístěno tak, aby kořen trhliny ležel uprostřed mezi středy válečků, tedy vzdálenosti podpor. Výroba vzorků je nenáročná a jednoduchá, ale s velkou spotřebou materiálů. Při této zkoušce se měří průhyb a síla, která těleso zatěžuje. Výsledkem této zkoušky je určení počáteční a protlačené délky trhliny. Pokud dojde k lomu tělesa, lze určit lomovou houževnatost.



Obr. 4.3 Tříbodový ohyb – zkušební těleso
(Tříbodový ohyb, [online], [15])

Výška zkušebního tělesa – W, vzdálenost válečkových podpor – S, délka vzorku – L, zatěžovací síla – F, výška zářezu – a, šířka zářezu – b.

Čtyřbodový ohyb je další možnost zkoušky v ohybu. U této zkoušky je nosník namáhán dvěma silami, jejich účinek působí v jedné třetině vzdálenosti podpor. Výskyt defektů je větší, to má za následek menší ohybové napětí. Tento typ zkoušky je používán u křehkých materiálů. (KOSEK, L., *Lomová houževnatost kovových materiálů a její zkoušení.* [2])



Obr. 4.4 Čtyřbodový ohyb – zkušební těleso
(Tříbodový ohyb, [online], [15]

5. Lomové zkoušky betonu s kovovými vlákny

ČSN EN 14651+A1 Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)

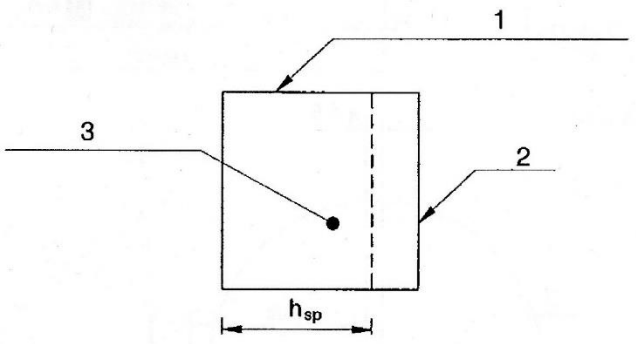
Chování betonu s kovovými vlákny v tahu se klasifikuje prostřednictvím hodnot zbytkové pevnosti v tahu za ohybu stanovených z grafu závislosti průhybu na zatížení nebo z grafu závislosti rozevření trhliny (CMOD) na zatížení. Grafy jsou získány při zatížení prostě podepřeného hranolu se zářezem uprostřed délky.

5.1 Zkušební tělesa

Zkušebními tělesy jsou hranoly, které odpovídají EN 12390-1 o jmenovité velikosti (šířka a výška) 150 mm a délce L pro kterou platí 550 mm ≤ L ≤ 700 mm. Tvar a velikost zkušebních těles jsou vhodné pro beton s kovovými vlákny do délky 60 mm a pro beton s maximální velikosti zrn kameniva, které nepřesahuje 32 mm.

Norma uvádí výrobu a ošetřování zkušebních těles. Zkušební tělesa se betonují a ošetřují v souhlasu s EN 12350-1 a EN 12390-2. Forma má být naplněna do 90 % své výšky, doplnění a zarovnání je provedeno během hutnění. Hutnění je prováděno externím vibrátorem. U samozhutnitelného betonu s obsahem kovových vláken se forma naplní a zarovná bez použití hutnících prostředků.

Zářez do zkušebních těles je prováděn za mokra. Tělesa se otočí o 90° kolem své podélné osy a řez je proveden po šířce tělesa uprostřed rozpětí. Šířka zářezu musí být minimálně 5 mm a vzdálenost h_{sp} musí být 125 mm ± 1 mm.

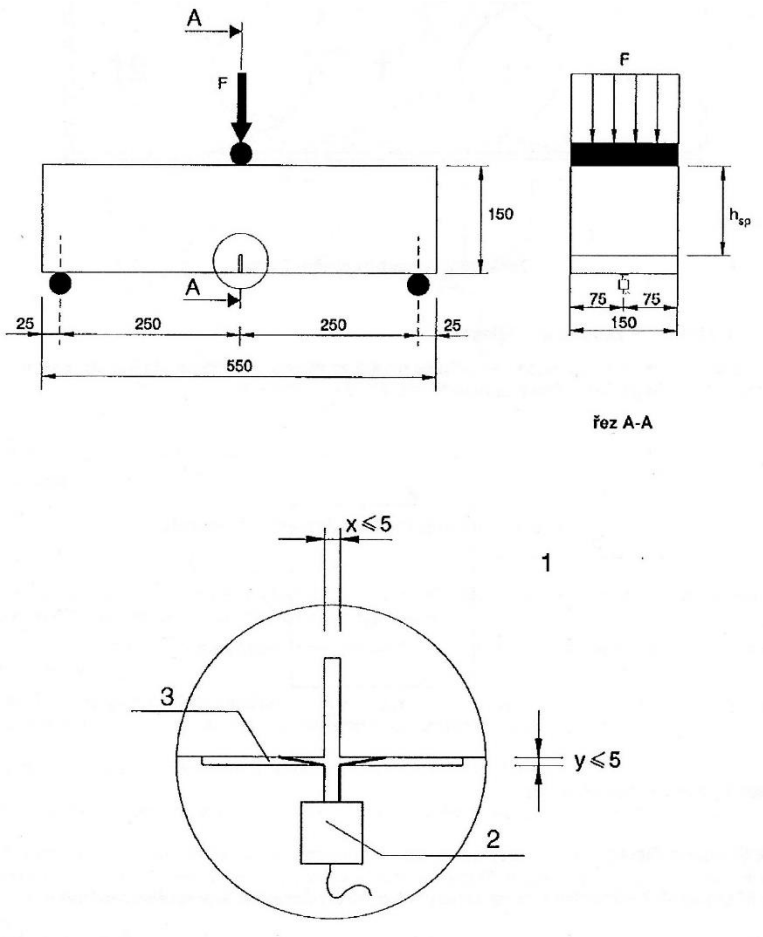


Obr. 5.1 Poloha zářezu vyříznutého do zkušebního tělesa před otočením (1- plocha, která byla při betonování nahoře, 2- zářez, 3- příčný řez zkušebním tělesem)

Tělesa jsou ošetřována po dobu 3 dní po vyříznutí zářezu a ošetřování je ukončeno 3 hodiny před zkouškou. Zkouška je prováděna na tělesech, která jsou stará minimálně 28 dnů.

5.2 Postup zkoušky

Měření se provádí s přesností na 0,1 mm. Při měření rozevření trhliny (CMOD) se snímač umístí ve směru podélné osy uprostřed šířky zkušebního tělesa tak, aby vzdálenost *y* mezi spodní hranou tělesa a přímkou měření byla maximálně 5 mm. Pokud je měřen průhyb místo CMOD je snímač umístěn na tuhý rám, který je připevněn ke zkušebnímu tělesu v polovině výšky nad podpěrami. Jeden konec rámu se připevní tak, aby byl umožněn posun a druhý konec způsobem, který umožňuje pootočení.

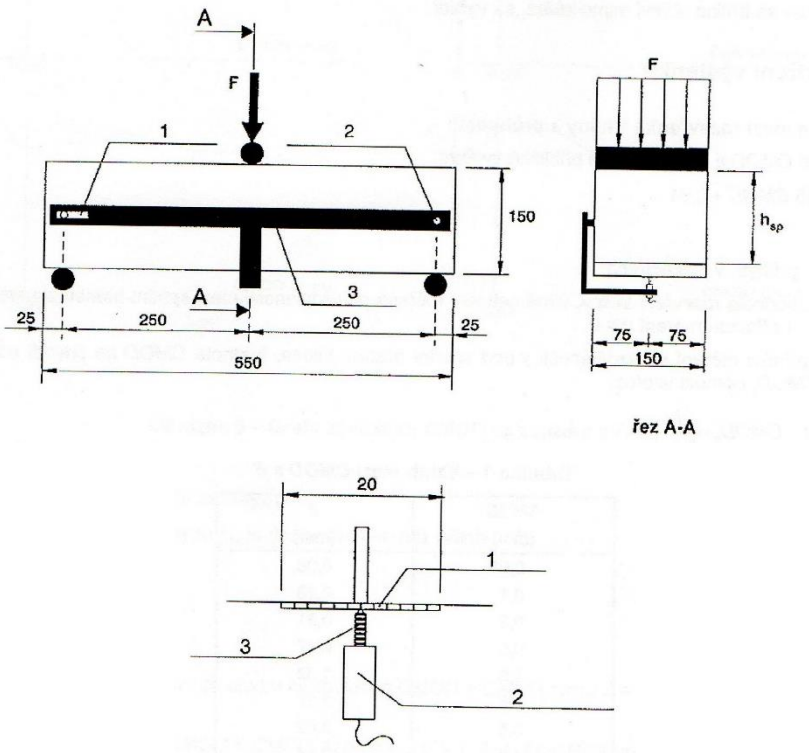


Obr. 5.2a Typické uspořádání při měření rozevření trhliny (CMOD)
(1- detail zářezu, 2- snímač neboli měřidlo se sponou, 3- hrana nože)

Všechny povrchy podpěr se musí očistit, aby byl odstraněn veškerý nadbytečný materiál z povrchu zkušebního tělesa.

Při umísťování zkušebního tělesa do zkušebního stroje je důležité, aby podélná osa tělesa byla kolmá k podélné ose horních a spodních válečků.

Před prováděním ohybové zkoušky se tělesa přeměří a určí se průměrná délka rozpětí zkušebních těles. Zatížení se nesmí přenášet dříve, nežli jsou všechny zatěžovací i podpěrné válečky řádně umístěny na zkušebním tělese. Pokud je při zkoušce použit stroj, který řídí rychlost zvětšování rozevření trhliny (CMOD), stroj se musí nastavit tak, aby se rozevření trhliny zvětšovalo stálou rychlostí 0,05 mm/min. V okamžiku, kdy CMOD dosáhne 0,1 mm, se stroj přepne tak, aby se rozevření trhliny zvětšovalo konstantní rychlostí 0,2 mm/min. Během prvních 2 minut zkoušky se hodnoty zatížení a odpovídajícího CMOD zaznamenávají s frekvencí 5 Hz. Pozdější frekvence se mohou snížit, ale musí být minimálně 1 Hz.



Obr. 5.2b Typické uspořádání při měření průhybu
(1- hliníková destička o tloušťce 1 mm, 2- snímač, 3- pružinový hřídel)

Zkouška se ukončí, pokud hodnota CMOD je rovna 4 mm a výš. Zkoušky, u kterých se trhlina vyskytne, mimo zářez se vyřadí.

5.3 Výsledky

Vztah mezi rozevřením trhliny a průhybem

Tento vztah lze přibližně vyjádřit:

$$\delta = 0{,}85\ CMOD + 0{,}04$$

kde δ je průhyb, v milimetrech;

$CMOD$ hodnota rozevření trhliny, v milimetrech, měřená při vzdálenosti mezi spodní hranou zkušebního tělesa a přímkou $y = 0$.

CMOD (mm)	δ (mm)
0,05	0,08
0,1	0,13
0,2	0,21
0,5	0,47
1,5	1,32
2,5	2,17
3,5	3,02
4,0	3,44

Tab. 5.3 Vztah mezi CMOD a δ

Mez úměrnosti

Mez úměrnosti je dána vztahem:

$$f_{ct,L}^{f} = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2}$$

kde $f_{ct,L}^{f}$ je mez úměrnosti, v Newtonech na čtvereční milimetr;

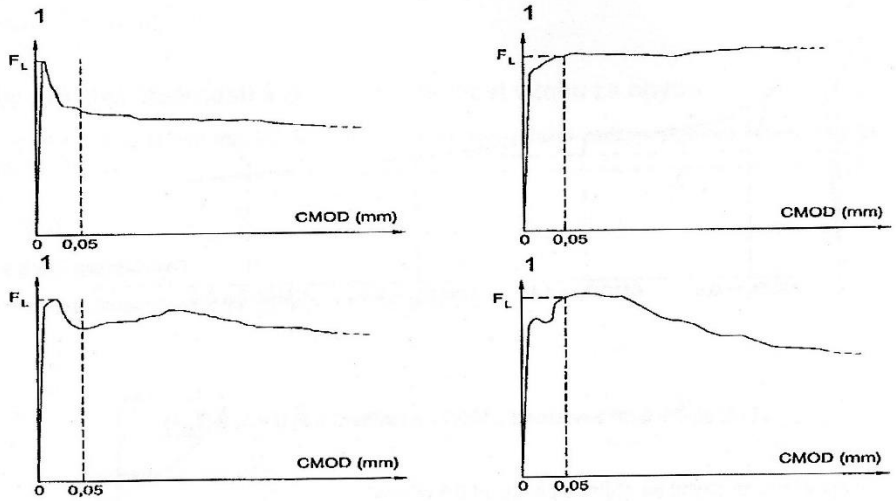
F_L zatížení odpovídající mezi úměrnosti, v Newtonech;

l délka rozpětí, v milimetrech;

b šířka zkušebního tělesa, v milimetrech;

h_{sp} vzdálenost mezi koncem zářezu a horní hranou zkušebního tělesa, v milimetrech.

Hodnota zatížení F_L se určí pomocí přímky nakreslené ve vzdálenosti 0,05 mm vedené rovnoběžné s osou zatížení v grafu CMOD na zatížení nebo v grafu závislosti na průhybu. Pro F_L se vezme největší hodnota zatížení v intervalu 0,05 mm. Mez úměrnosti se vyčíslí s přesností na 0,1 N/mm^2.



Obr. 5.3 Grafy závislosti CMOD na zatížení F_L

Zbytková pevnost v tahu za ohybu

Zbytková pevnost v tahu za ohybu je dána následujícím vztahem:

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2}$$

kde $f_{R,j}$ zbytková pevnost v tahu za ohybu, v Newtonech na milimetr čtvereční;

F_j zatížení odpovídající CMOD = $CMOD_j$ nebo $\delta = \delta_j$ (j = 1,2,3,4) v Newtonech;

l délka rozpětí, v milimetrech;

b šířka zkušebního tělesa, v milimetrech;

h_{sp} vzdálenost mezi koncem zářezu a horní hranou zkušebního tělesa, v milimetrech.

(*ČSN EN 14651 + A1*, s. 7 - 13, [4])

6. Stanovení křehkosti vybraných stavebních kompozitů

Stanovení lomově-mechanických parametrů se týkalo těles z lehkého a obyčejného betonu. K dispozici bylo 11 sad zkušebních těles. Z lehkého betonu bylo vyrobeno 7 sad zkušebních těles, od každé sady byly vyhotoveny vždy 3 vzorky. Referenční tělesa z lehkého betonu neobsahovala žádná vlákna a jsou uvedena pod názvem LB REF. Další tělesa z lehkého betonu byla s obsahem polymerních vláken Forta Ferro s délkou vláken 19, 38 a 54 mm. Tato tělesa jsou v práci označena LB FF-19, LB FF-38 a LB FF-54. Zbylá tělesa z lehkého betonu s obsahem blíže nespecifikovaných vláken jsou označeny jako LB ASHP_12, LB BS55_4,5 a LB BS55.
Stavební kompozity z obyčejného betonu rovněž byly bez obsahu vláken a s obsahem vláken. Byly k dispozici 4 sady těles z obyčejného betonu. Vzorky z obyčejného betonu bez přidání vláken jsou v práci označeny jako OB REF. V dalších sadách zkušební tělesa obsahovala blíže nespecifikovaná vlákna označena jako OB ASHP_12, OB BS55_4,5 a OB BS55.

U všech těles, kromě LB REF a OB REF byl vždy měřen příslušný posun *d* a *CMOD*. U těchto referenčních těles byl měřen pouze posun *d, CMOD* se muselo dopočítat podle následujícího vzorce

$$CMOD\ [m] = a(\frac{d}{d_{Pmax}})^2 + b\frac{d}{d_{Pmax}}$$

d zastupuje příslušný posun, d_{Pmax} označuje posun maximální síly, a, b jsou regresní koeficienty. V Tab. 6.0 jsou regresní funkce s hodnotami koeficientů pro daný přepočet.

LB REF	a (x^2)	b (x)	R^2	**OB REF**	a (x^2)	b (x)	R^2
T1	1.630E-05	3.800E-05	1.00E+00	A1	8.301E-06	2.265E-05	1.00E+00
T3	1.380E-05	3.790E-05	1.00E+00	A3	5.956E-06	2.121E-05	1.00E+00
T5	1.520E-05	3.810E-05	1.00E+00	A7	5.176E-06	1.947E-05	1.00E+00

Tab. 6.0 Tabulka koeficientů regresních funkcí pro daný přepočet posunu d na CMOD pro lehký a obyčejný beton bez vláken

Před vyhodnocením křehkosti vybraných stavebních materiálů na několika stanovených úrovních bylo potřebné upravit vstupní data. Vstupní data zahrnovala zápis z měření zkušebních těles, která byla namáhána tříbodovým ohybem. Tyto informace obsahovaly záznam síly v daném čase a tomu odpovídající příslušný posun nebo $CMOD$ (crack mouth opening displacement). $CMOD$ nebylo měřeno u všech vybraných kompozitů. Záznam obsahoval také

skutečné rozměry, datum výroby a hmotnost zkušebních trámců, viz Tab. 6.1 pro ilustraci. Jak bylo uvedeno, zkušební trámce byly vyrobeny z lehkého betonu bez přidání vláken a s obsahem vláken různých délek. Trámce s obyčejným betonem byly také vyrobeny s vlákny nebo bez obsahu vláken. Z každé betonové směsi byly vyrobeny tři zkušební trámce rozměrů 100x100x400 mm.

LB FF-19	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T7	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	101.69	99.99	32.27	2.49	7680
T8	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	100.56	100.22	32.50	2.52	7619
T9	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	98.68	100.05	32.62	2.47	7531

Tab. 6.1 Tabulka rozměrů vzorků z lehkého betonu s obsahem polymerních vláken Forta Ferro délky 19mm

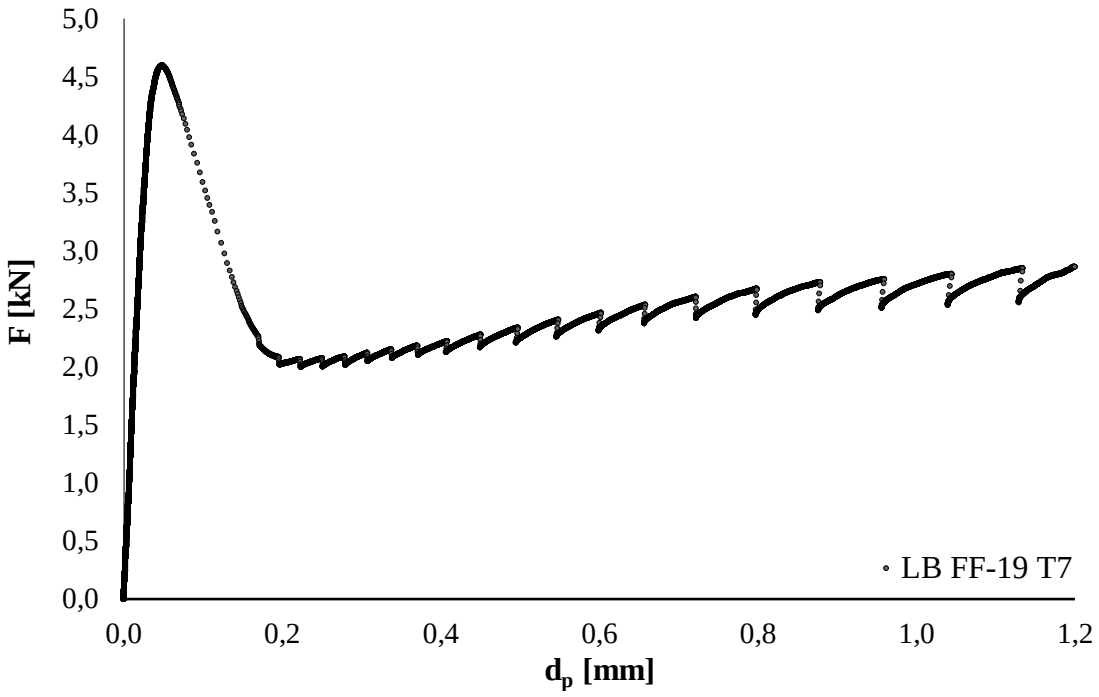
6.1 Zkušební tělesa s měřeným posunem d

Nejprve se některé grafy posunu d a síly F musely upravit. Na Obr. 6.1 je vyneseno měření tělesa z lehkého betonu s obsahem vláken délky 19 mm. Po zhlédnutí Obr. 6.1 vypadá měření zcela v pořádku. Po přiblížení oblasti grafu Obr. 6.2 si povšimneme, že měření na počátku je nutné posunout do nuly z důvodu nepřesného začátku zaznamenávání. Zmíněná oblast je vyznačena elipsou na Obr. 6.2.

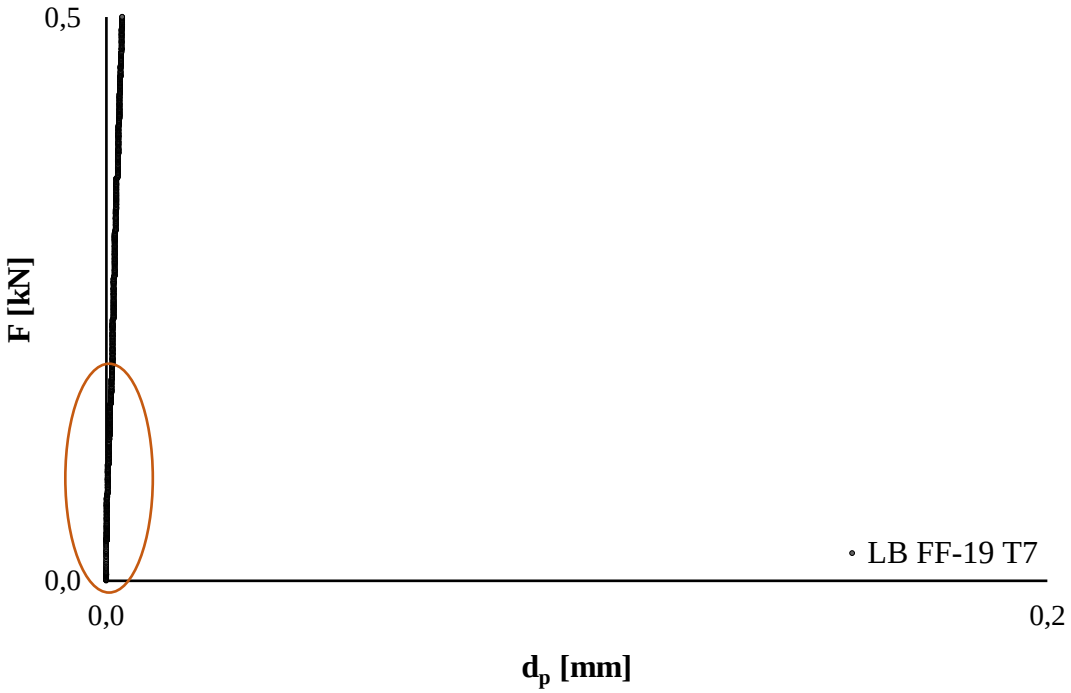
Při posun grafu se postupovalo následovně. Přiblížením počáteční oblasti grafu se určila oblast, která byla téměř lineární. Tímto výběrem dat byla proložena lineární spojnice trendu. Tak byla získána rovnice grafu a hodnota indexu spolehlivosti R, Obr. 6.3.

Z rovnice grafu ve tvaru $y = ax + b$ se určí hodnota x_0, $x_0 = \frac{-b}{a}$. Parametr x_0 je nutný pro výpočet nového posunu d, který se rovná součtu původního posunu d_p a hodnoty x_0. Tento způsob výpočtu je použit od posledního bodu na lineární oblasti směrem k zvětšujícímu se posunu d. Počáteční body, které byly nahrazeny lineární oblastí, se dopočítají pomocí rovnice přímky. Následné zobrazení posunutého grafu je na Obr. 6.4, které také zobrazuje dopočítané počáteční body (zvýrazněno elipsou).

V Tab. 6.2 jsou znázorněny hodnoty rovnice y a dopočítaný bod x_o tělesa z lehkého betonu s vlákny FF s délkou 19 mm, vzorku T7.



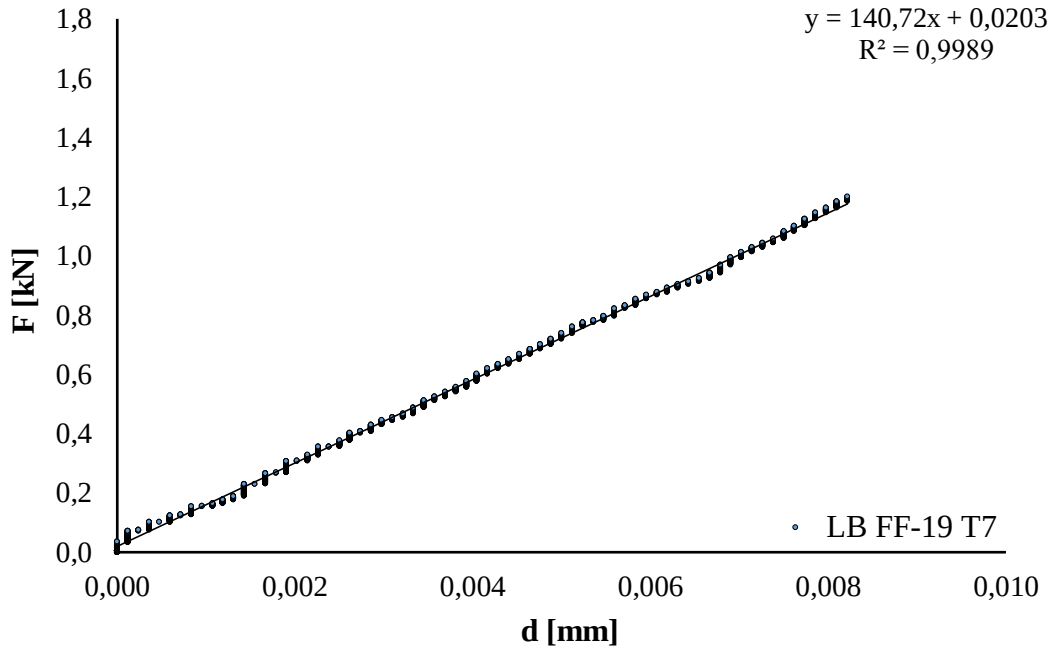
Obr. 6.1 Graf zkušebního trámce z lehkého betonu s vlákny FF- 19 namáhaný tříbodovým ohybem



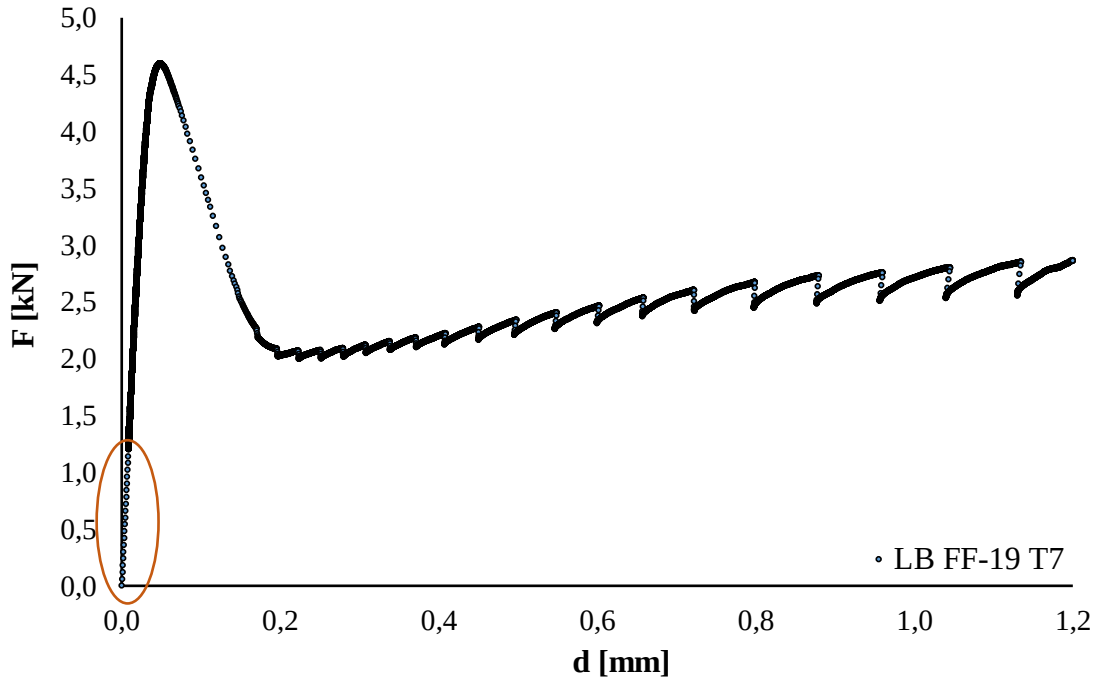
Obr. 6.2 Zvýrazněná oblast chybného měření tělesa z lehkého betonu s obsahem vláken FF-19

$y = 140.72\,x + 0.0203$	$R^2 = 0.9989$
$x_o = -1.4426E-04$	

Tab. 6.2 Výpočet hodnoty x_0



Obr. 6.3 Vybraná počáteční data proložená lineární spojnici trendu



Obr. 6.4 Výsledný posunutý graf s dopočítanými body označený elipsou tělesa LB FF-19 T7

Po získání upravených dat je nutné určit maximální sílu a tomu odpovídající posun, sílu a odpovídající posun posledního lineárního bodu a vytvořit soubory dat (poznámkové bloky) z testu každého zkušebního tělesa. Tyto soubory slouží jako vstupní data pro výpočtový program StiCrack. Soubory dat z testů těles se musí připravit pro jednotlivé posuny, zvolený krok byl $0{,}1\ d$. Soubory obsahují tři sloupce hodnot, je to čas, odpovídající síla F a posun d. Hodnoty maximální síly P_{max} a odpovídající posun d_c a síla vybraného bodu – lineární větve zatěžovacího diagramu P_i a příslušný posun d_i – jsou vypsány pro ilustraci pro daná tělesa v Tab. 6.3. Označení síly P_{max} místo F_{max} je použito z důvodů orientace při dosazování do programu StiCrack. Tato tabulka slouží jako vstupní data pro dále prováděné výpočty a spolu se soubory dat záznamu zatěžovacího diagramu také pro výpočet pomocí StiCracku.

Symbol	*Jednotky*	**T7**	**T8**	**T9**
D	mm	99.99	100.22	100.05
B	mm	101.69	100.56	98.68
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	32.27	32.50	32.62
m	kg	7.680	7.619	7.531
H_0	mm	2.25	2.25	2.25
P_i	N	1140	2186	1501
d_i	mm	8.101E-03	1.537E-02	1.185E-02
P_{max}	N	4595	3953	4143
d_c	mm	4.907E-02	4.728E-02	4.411E-02
f_c	MPa	66.06	70.12	54.22

Tab. 6.3 Vstupní data pro program StiCrack a Excel – Visual Basic LB FF-19

Pro vyhodnocení lomově-mechanických parametrů pro cementové kompozity byl využit program StiCrack pouze u těles s měřeným posunem d. Program se spustí vepsáním adresy do prohlížeče http://ashtray.jz.gts.cz/~smsti/StiCrack.php?type=3PB. Je nutné vypsat údaje z měření, jako jsou rozměry zkušebního trámce, délka zářezu, hmotnost a potřebný soubor. Jakmile potvrdíme vložené vstupní údaje, prohlížeč odesílá tyto data na server ke zpracování. Následně se zobrazují výsledky lomových charakteristik a zatěžovacích diagramů.

Pro přehled je uvedeno, jak to vypadá na serveru, kde je permanentně umístěno několik programů:

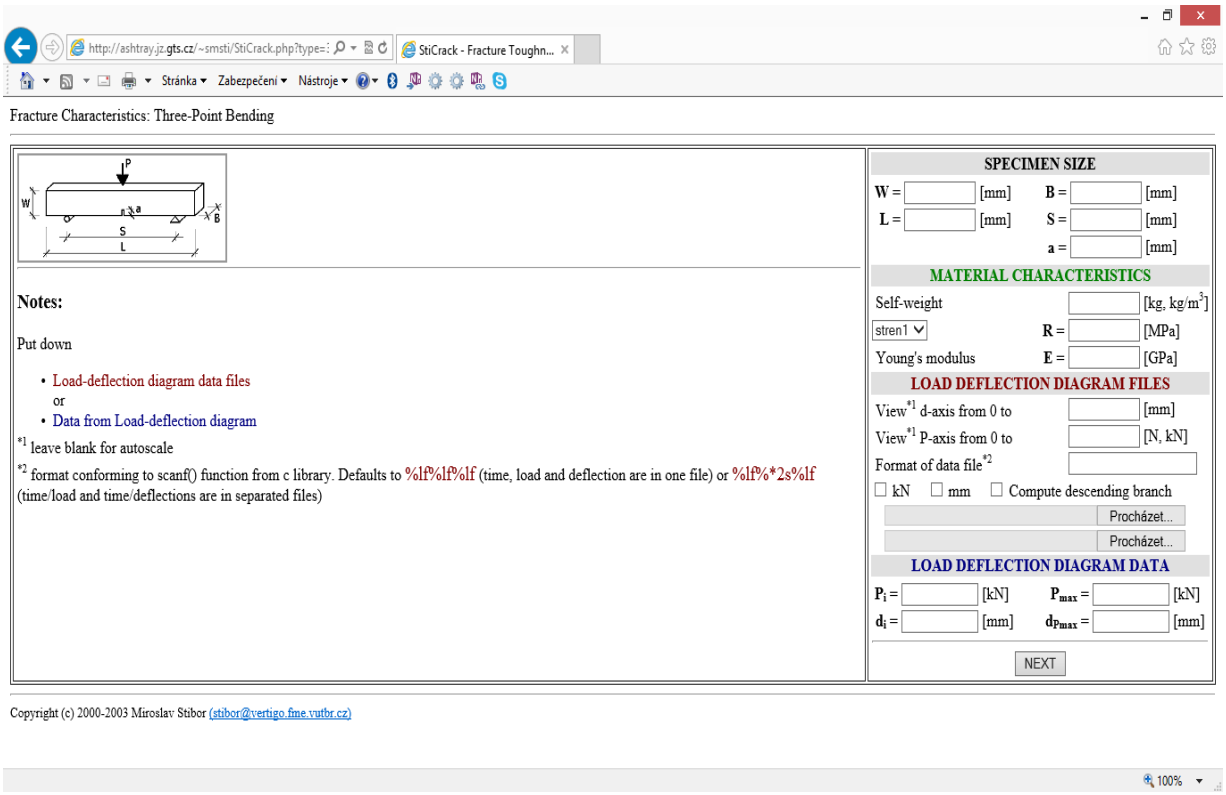
- WWW server s podporou PHP skriptů
- PHP skript STICRACK.PHP
- program STICRACK pro výpočet lomových charakteristik
- program GNUPLOT pro vykreslování grafů

Typický průběh zpracování na serveru je možné popsat v následujících bodech:

- obdrží-li WWW server požadavek na výpočet, spustí volaný skript, který vygeneruje WWW stránku formuláře vstupních veličin
- uživatelem vyplněné vstupní údaje o zkušebním tělese se předávají na server PHP skript STICRACK.PHP
- tento skript prozkoumá správnost získaných údajů, a pokud je vše v pořádku, začne opět generovat HTML stránku s výsledky
- vlastní výpočet však neprovádí PHP skript, ten pouze předává vstupní údaje výpočtovému programu, který pokračuje v generování HTML stránky
- po ukončení chodu programu přebírá výpočet opět PHP skript, zadal-li uživatel i soubory naměřených průběhů, předává je spolu s opravenými průběhy programu GNUPLOT pro jejich vykreslení
- posledním krokem je, že PHP skript přebírá úlohu a dokončuje generování HTML stránky s přehledem výsledků

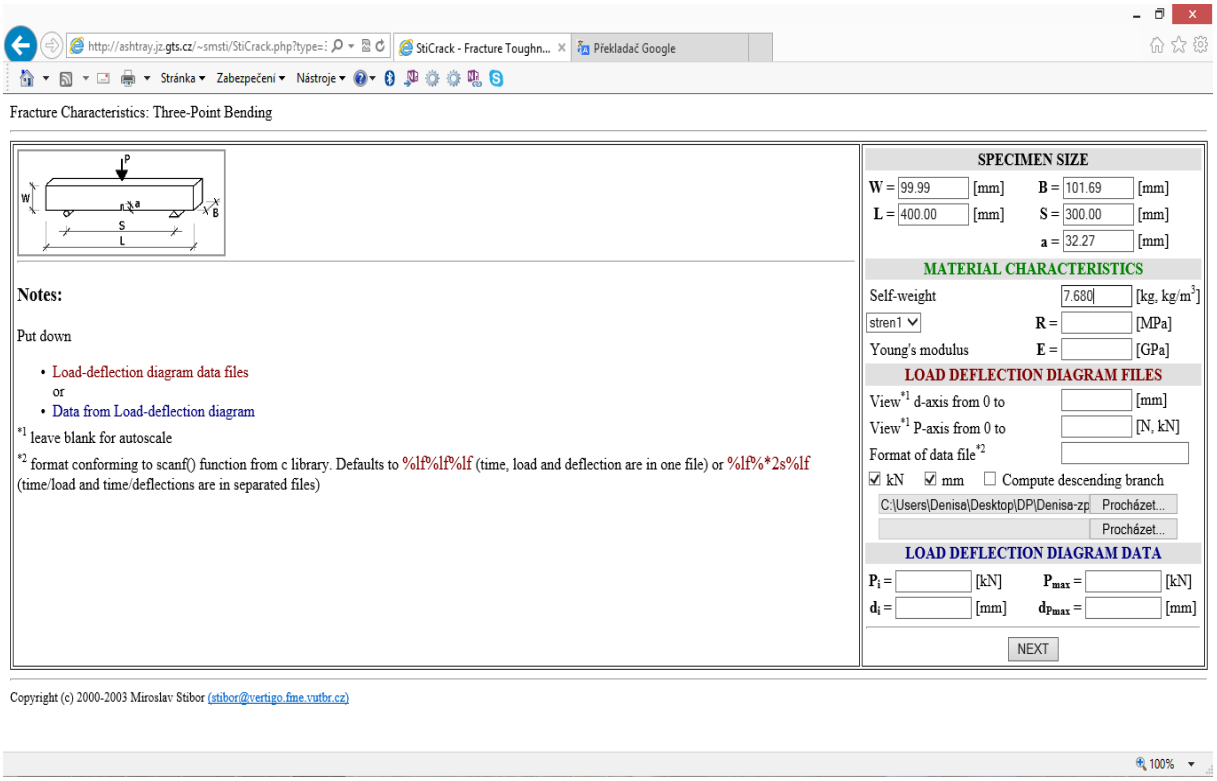
(STIBOR, M.. *Lomové parametry kvazikřehkých materiálů a jejich určování.* Brno, 2004, s. 47 - 61, [3].)

Program StiCrack se spouští přes internetovou stránku. Pro výpočet lze použít pouze prohlížeč Internet Explorer. Na Obr. 6.5 je zobrazeno vstupní okno programu.



Obr. 6.5 Program StiCrack

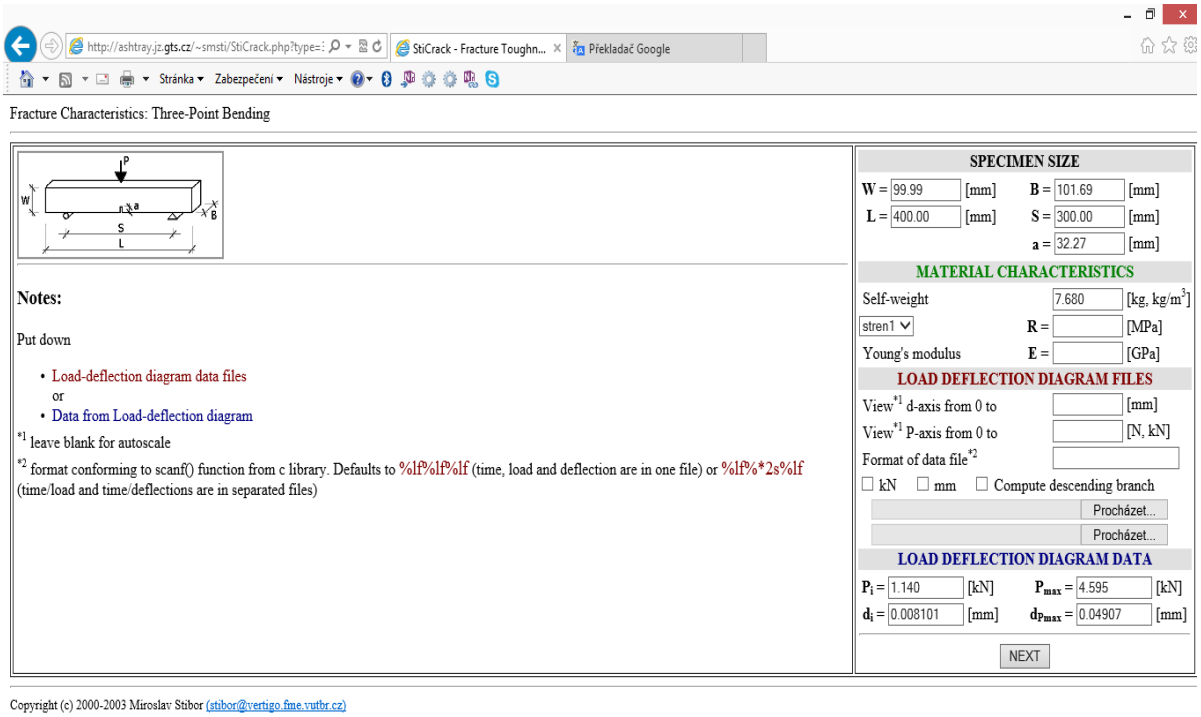
V levé horní části se nachází náčrt s okótovanými rozměry. Tyto rozměry je nutné specifikovat v pravé části okna *Specimen size*, kde *W* označuje výšku zkušebního tělesa, *L* délka vzorku, *S* vzdálenost podpor, *B* je šířka tělesa, *a* určuje velikost zářezu ve zkušebním trámci. Dále se musí vyplnit *Material charakteristic*, kde vypíšeme pouze hmotnost zkušebního vzorku. V *Load deflection diagram files* zatrhneme jednotky, v kterých máme připravena data ve zmíněných souborech (poznámkových blocích). Další krok je vybrat příslušný soubor s daty zatěžovacího diagramu z lomového testu daného tělesa. Vyplnění těchto oken je program připraven zpracovat data, Obr. 6.6.



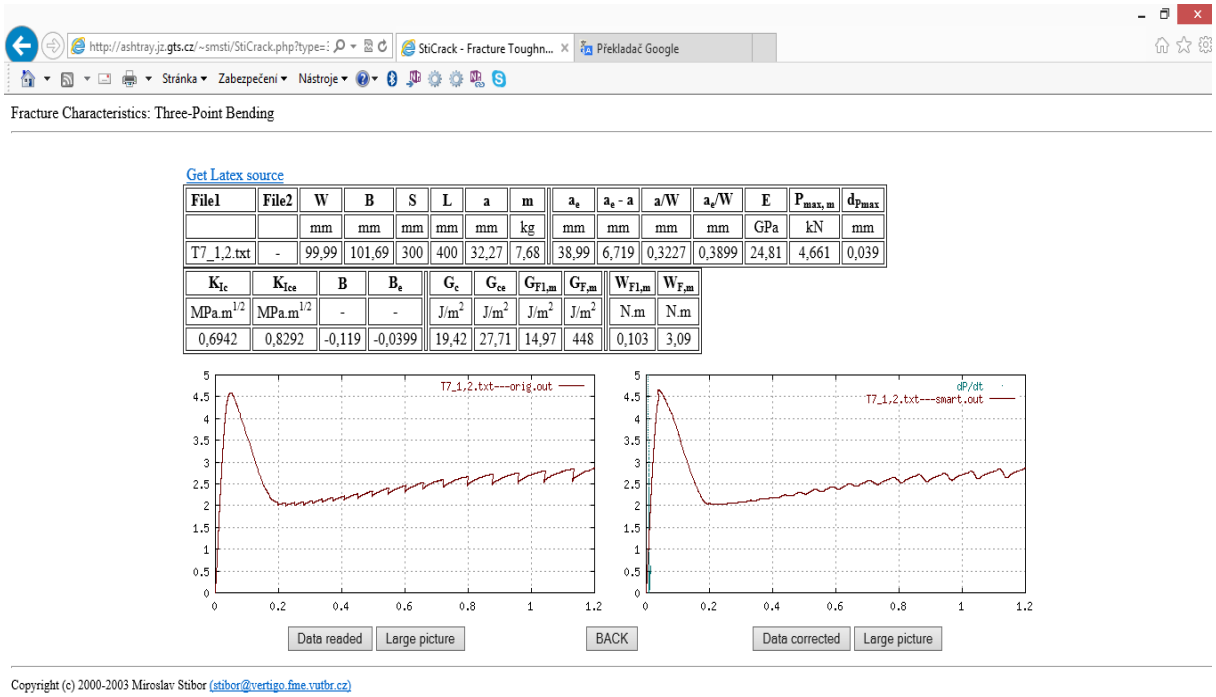
Obr. 6.6 StiCrack s vyplněnými daty a příslušným souborem pro výpočet

Po spuštění výpočtu dostaneme tabulku a výchozí grafy průběhu síly F a posunu d. Tímto postupem získáme hodnotu lomové práce W, lomové houževnatosti, modulu pružnosti E. Výsledek programu StiCrack je znázorněn Obr. 6.7.

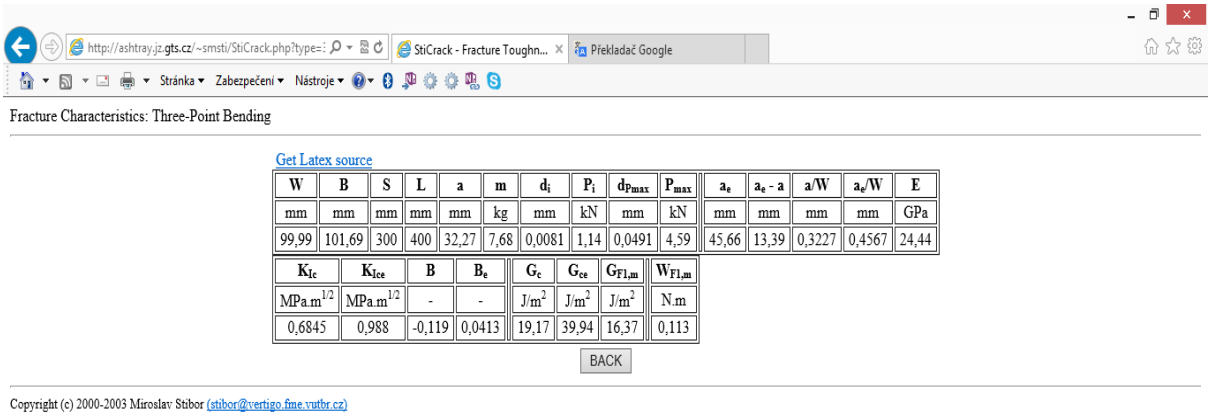
Pro výpočet velikosti rostoucí trhliny pro daný posun d musíme pozměnit vstupní data programu StiCrack. Část *Specimen size* a *Material charakteristic* ponecháme beze změn. Třetí část *Load deflection diagram files* se ponechá zcela bez vyplnění. U výpočtu rostoucí trhliny je nutné vyplnit poslední část vstupních dat *Load deflection diagram data*, kde se vyplní maximální síla P_{max} a odpovídající posun d_{max}, poslední vybraný bod na počáteční lineární větvi určený silou P_i a příslušný d_i, zobrazeno na Obr. 6.8.



Obr. 6.7 Výstup programu StiCrack pro výpočet lomové práce W, lomové energie G_F, modulu pružnosti E a dalších lomových charakteristik



Obr. 6.8 Vstupní data pro výpočet délky trhliny a_e v programu StiCrack



W	B	S	L	a	m	d_i	P_i	d_{Pmax}	P_{max}	a_e	a_e - a	a/W	a_e/W	E
mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm	kN	mm	kN	mm	mm	mm	mm	GPa
99,99	101,69	300	400	32,27	7,68	0,0081	1,14	0,0491	4,59	45,66	13,39	0,3227	0,4567	24,44

K_{Ic}	K_{Ice}	B	B_e	G_c	G_{ce}	$G_{Fl,m}$	$W_{Fl,m}$
MPa.m$^{1/2}$	MPa.m$^{1/2}$	-	-	J/m^2	J/m^2	J/m^2	N.m
0,6845	0,988	-0,119	0,0413	19,17	39,94	16,37	0,113

Obr. 6.9 Výstup programu StiCrack pro výpočet délky trhliny a_e

6.2 Zkušební tělesa s měřeným CMOD

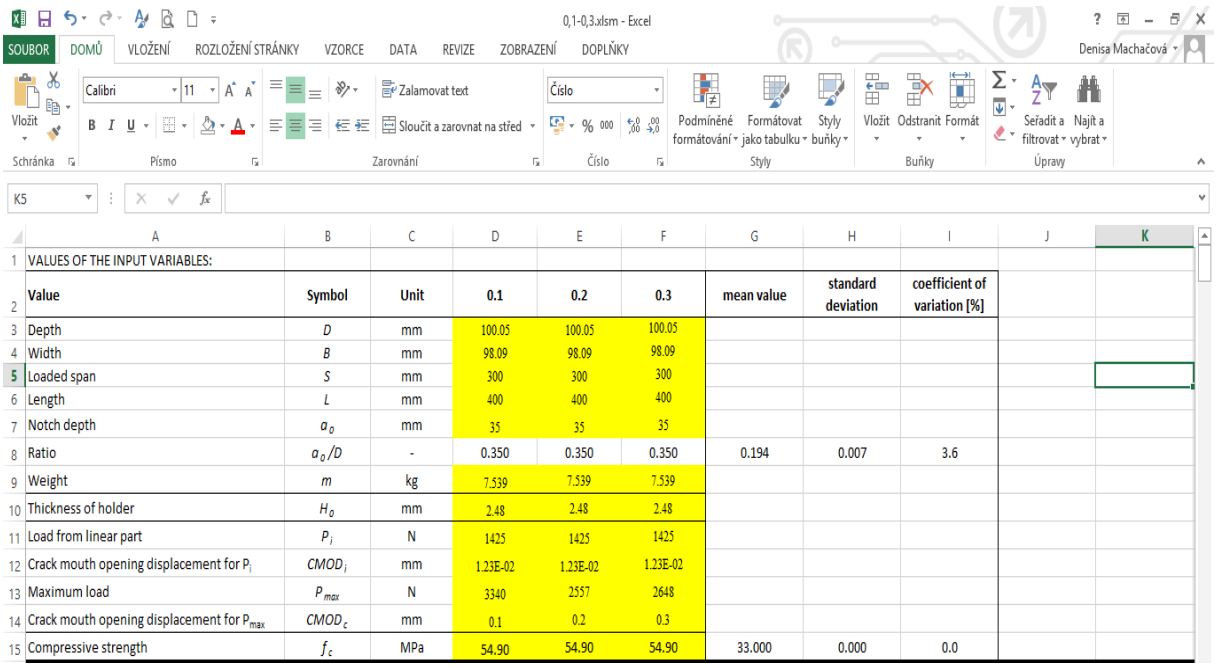
U zkušebních trámců je měřený mimo posunu d také $CMOD$ (crack mouth opening displacement). U těchto těles se využívá program StiCrack pro výpočet lomové práce W. Postup výpočtu se opakuje jako u těles s měřeným posunem d. StiCrack nelze použít pro výpočet délky trhliny a_e, lomové houževnatosti K_I, lomovou energii G_f a modulu pružnosti E při měřeném $CMOD$ z důvodu, že program počítá pouze s posunem d.

Pro výpočet lomových charakteristik se využije výpočtový program v prostředí Excel – Visual Basic od Ing. Ivany Havlíkové. V tomto programu je nutné opět vyplnit vstupní data, které jsou shodná s vstupními daty těles s měřeným posunem d. Pro názornost jsou zobrazeny údaje pro výpočet charakteristik v Tab. 6.3.

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T5**
D	mm	100.05	100.04	100.18
B	mm	98.09	98.19	98.04
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	35.00	34.73	34.11
m	kg	7.539	7.541	7.594
H_0	mm	2.25	2.25	2.25
P_i	N	1425.00	1425.00	950.00
$CMOD_i$	mm	1.231E-02	1.120E-02	6.968E-03
P_{max}	N	4143.00	3281.00	3815.00
$CMOD_c$	mm	4.482E-02	3.638E-02	4.144E-02
f_c	MPa	54.90	57.62	63.33

Tab. 6.4 Vstupní data pro výpočtový program v Excel – Visual Basic LB FF-54

Hodnoty $CMOD_i$ a P_i jsou opět síla vybraného lineárního bodu a odpovídající měřený $CMOD$. Síla s indexem max P_{max} je maximální síla dosažena měřením a příslušný posun $CMOD_c$. Pokud jsou nám známy zmíněné hodnoty, následuje zadávání dat v programu Excel – Visual Basic. Vstupní data jsou označena žlutou barvou, bez které program nespustí výpočet, viz Obr. 6.10.

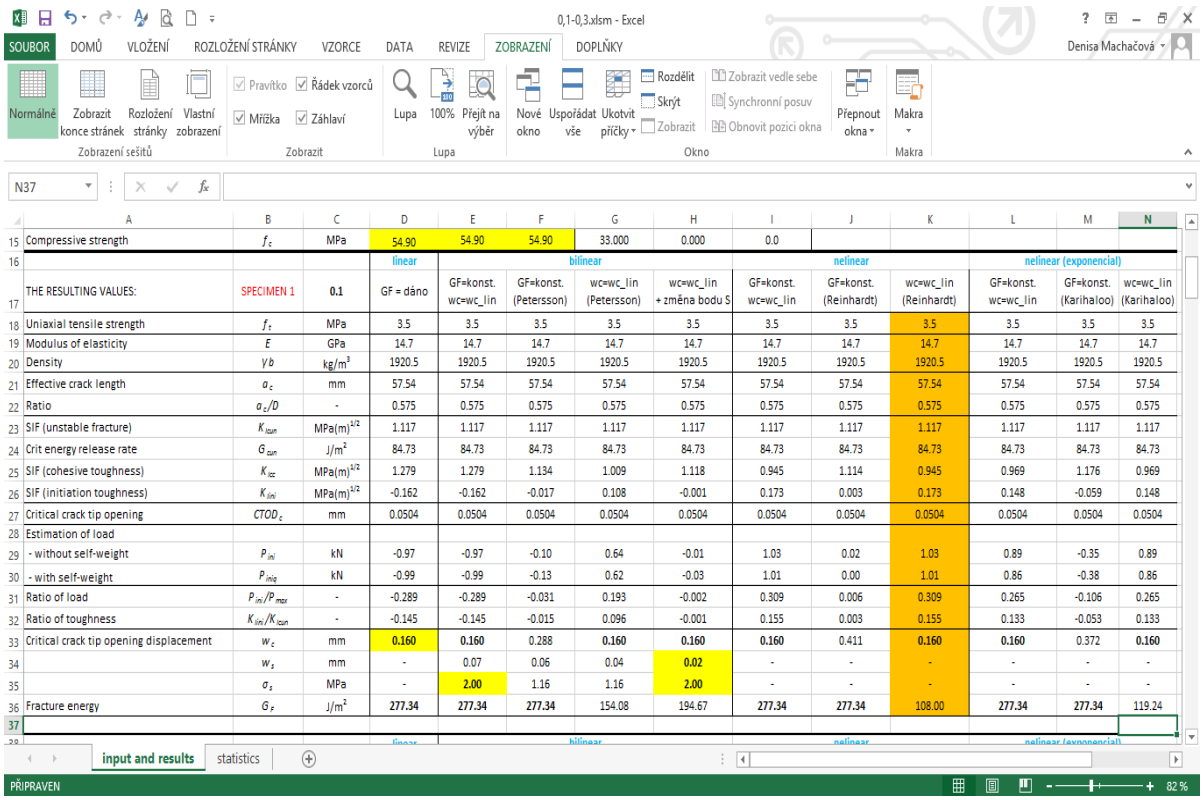


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	VALUES OF THE INPUT VARIABLES:										
2	**Value**	**Symbol**	**Unit**	**0.1**	**0.2**	**0.3**	**mean value**	**standard deviation**	**coefficient of variation [%]**		
3	Depth	D	mm	100.05	100.05	100.05					
4	Width	B	mm	98.09	98.09	98.09					
5	Loaded span	S	mm	300	300	300					
6	Length	L	mm	400	400	400					
7	Notch depth	a_0	mm	35	35	35					
8	Ratio	a_0/D	-	0.350	0.350	0.350	0.194	0.007	3.6		
9	Weight	m	kg	7.539	7.539	7.539					
10	Thickness of holder	H_0	mm	2.48	2.48	2.48					
11	Load from linear part	P_i	N	1425	1425	1425					
12	Crack mouth opening displacement for P_i	$CMOD_i$	mm	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02					
13	Maximum load	P_{max}	N	3340	2557	2648					
14	Crack mouth opening displacement for P_{max}	$CMOD_c$	mm	0.1	0.2	0.3					
15	Compressive strength	f_c	MPa	54.90	54.90	54.90	33.000	0.000	0.0		

Obr. 6.10 Výpočtový program Excel - VB tělesa z LB FF-54 s měřeným CMOD

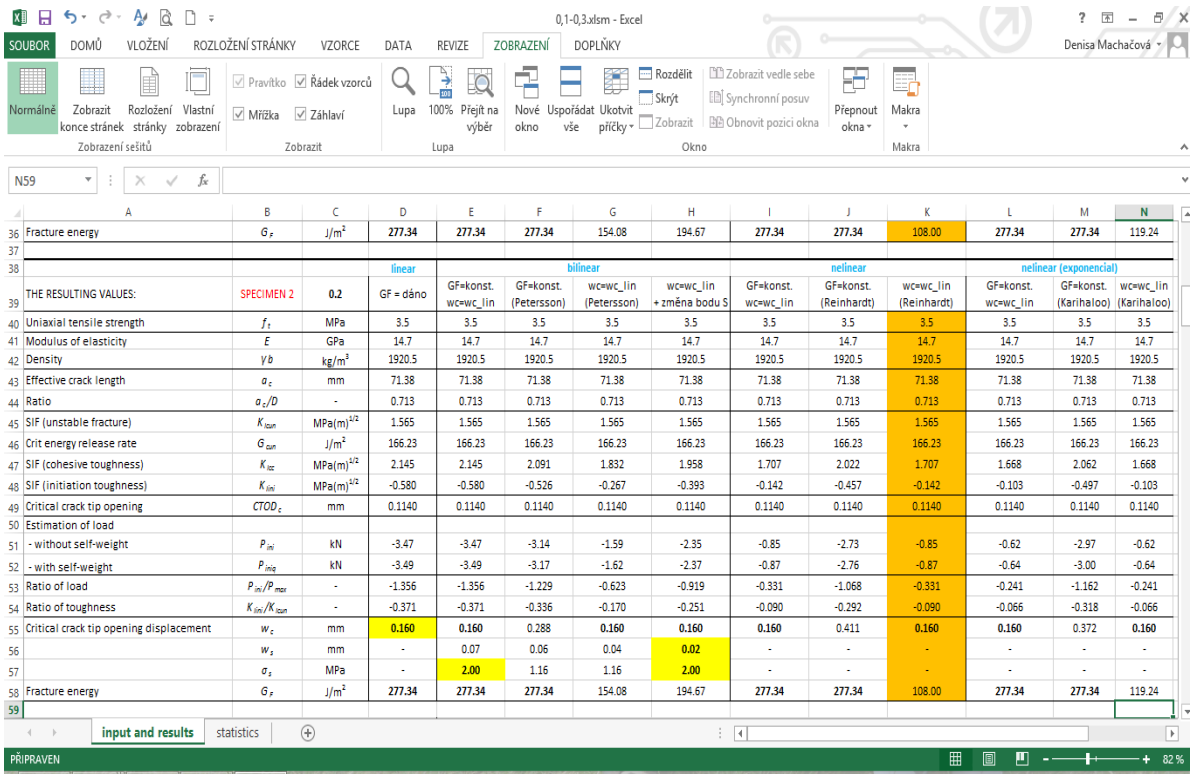
Výstupem programu jsou lomové charakteristiky každého $CMOD$. Zadaný posun je znázorněn v řádku Value označen příslušnou hodnotou počítaného $CMOD$. Výsledky programu pro tři vybrané posuny 0,1 až 0,3 mm jsou pro představu znázorněny na Obr. 6.11, Obr. 6.12 a Obr. 6.13.

Po získání lomových charakteristik ať už posunu d nebo $CMOD$ zmíněnými programy, byl postup dalšího počítání shodný. Získané hodnoty z programů tj. délky trhlin a_e a lomové práce W umožnily znázornění lomové práce pro jednotlivé posuny a prodloužení efektivní délky trhlin z počátečního zářezu, Obr. 6.14, Obr. 6.15.



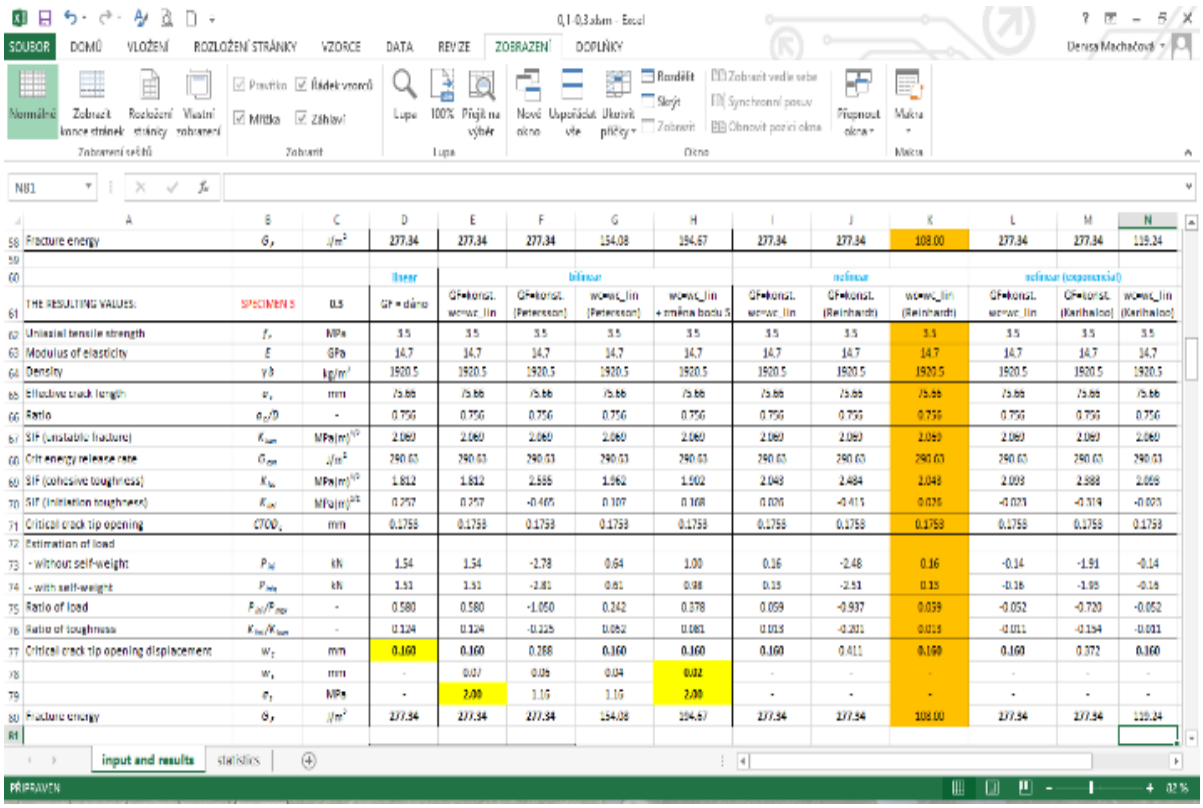
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
15	Compressive strength	f_c	MPa	54.90	54.90	54.90	33.000	0.000	0.0					
16				linear	bilinear				nelinear			nelinear (exponencial)		
17	THE RESULTING VALUES:	SPECIMEN 1	0.1	GF = dáno	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Petersson)	wc=wc_lin (Petersson)	wc=wc_lin + změna bodu S	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Reinhardt)	wc=wc_lin (Reinhardt)	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Karihaloo)	wc=wc_lin (Karihaloo)
18	Uniaxial tensile strength	f_t	MPa	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
19	Modulus of elasticity	E	GPa	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
20	Density	γb	kg/m^3	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5
21	Effective crack length	a_c	mm	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54	57.54
22	Ratio	a_c/D	-	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575
23	SIF (unstable fracture)	K_{Icun}	MPa(m)$^{1/2}$	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117
24	Crit energy release rate	G_{cun}	J/m^2	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73	84.73
25	SIF (cohesive toughness)	K_{Icc}	MPa(m)$^{1/2}$	1.279	1.279	1.134	1.009	1.118	0.945	1.114	0.945	0.969	1.176	0.969
26	SIF (initiation toughness)	K_{Ini}	MPa(m)$^{1/2}$	-0.162	-0.162	-0.017	0.108	-0.001	0.173	0.003	0.173	0.148	-0.059	0.148
27	Critical crack tip opening	$CTOD_c$	mm	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504
28	Estimation of load													
29	- without self-weight	P_{ini}	kN	-0.97	-0.97	-0.10	0.64	-0.01	1.03	0.02	1.03	0.89	-0.35	0.89
30	- with self-weight	P_{inig}	kN	-0.99	-0.99	-0.13	0.62	-0.03	1.01	0.00	1.01	0.86	-0.38	0.86
31	Ratio of load	P_{ini}/P_{max}	-	-0.289	-0.289	-0.031	0.193	-0.002	0.309	0.006	0.309	0.265	-0.106	0.265
32	Ratio of toughness	K_{Ini}/K_{Icun}	-	-0.145	-0.145	-0.015	0.096	-0.001	0.155	0.003	0.155	0.133	-0.053	0.133
33	Critical crack tip opening displacement	w_c	mm	0.160	0.160	0.288	0.160	0.160	0.160	0.411	0.160	0.160	0.372	0.160
34		w_s	mm	-	0.07	0.06	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-
35		σ_s	MPa	-	2.00	1.16	1.16	2.00	-	-	-	-	-	-
36	Fracture energy	G_F	J/m^2	277.34	277.34	277.34	154.08	194.67	277.34	277.34	108.00	277.34	277.34	119.24
37														

Obr. 6.11 Výstup programu Excel – VB tělesa LB FF-54, CMOD 0,1 mm



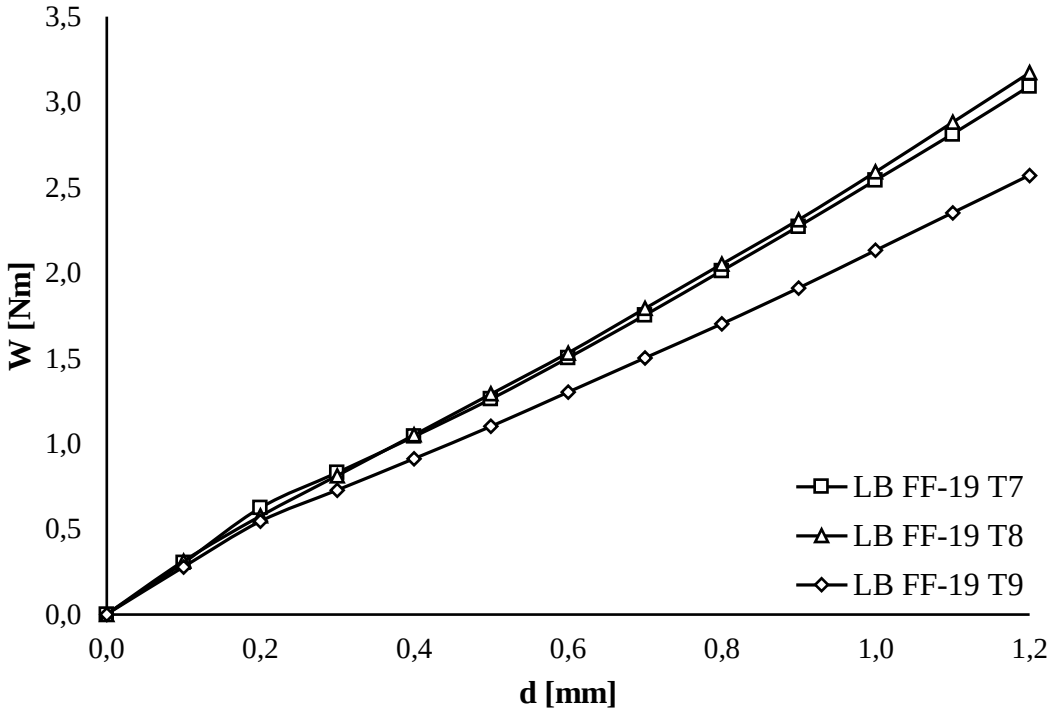
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
36	Fracture energy	G_F	J/m^2	277.34	277.34	277.34	154.08	194.67	277.34	277.34	108.00	277.34	277.34	119.24
37														
38				linear	bilinear				nelinear			nelinear (exponencial)		
39	THE RESULTING VALUES:	SPECIMEN 2	0.2	GF = dáno	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Petersson)	wc=wc_lin (Petersson)	wc=wc_lin + změna bodu S	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Reinhardt)	wc=wc_lin (Reinhardt)	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Karihaloo)	wc=wc_lin (Karihaloo)
40	Uniaxial tensile strength	f_t	MPa	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
41	Modulus of elasticity	E	GPa	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
42	Density	γb	kg/m^3	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5
43	Effective crack length	a_c	mm	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38	71.38
44	Ratio	a_c/D	-	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713	0.713
45	SIF (unstable fracture)	K_{Icun}	MPa(m)$^{1/2}$	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565	1.565
46	Crit energy release rate	G_{cun}	J/m^2	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23	166.23
47	SIF (cohesive toughness)	K_{Icc}	MPa(m)$^{1/2}$	2.145	2.145	2.091	1.832	1.958	1.707	2.022	1.707	1.668	2.062	1.668
48	SIF (initiation toughness)	K_{Ini}	MPa(m)$^{1/2}$	-0.580	-0.580	-0.526	-0.267	-0.393	-0.142	-0.457	-0.142	-0.103	-0.497	-0.103
49	Critical crack tip opening	$CTOD_c$	mm	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140	0.1140
50	Estimation of load													
51	- without self-weight	P_{ini}	kN	-3.47	-3.47	-3.14	-1.59	-2.35	-0.85	-2.73	-0.85	-0.62	-2.97	-0.62
52	- with self-weight	P_{inig}	kN	-3.49	-3.49	-3.17	-1.62	-2.37	-0.87	-2.76	-0.87	-0.64	-3.00	-0.64
53	Ratio of load	P_{ini}/P_{max}	-	-1.356	-1.356	-1.229	-0.623	-0.919	-0.331	-1.068	-0.331	-0.241	-1.162	-0.241
54	Ratio of toughness	K_{Ini}/K_{Icun}	-	-0.371	-0.371	-0.336	-0.170	-0.251	-0.090	-0.292	-0.090	-0.066	-0.318	-0.066
55	Critical crack tip opening displacement	w_c	mm	0.160	0.160	0.288	0.160	0.160	0.160	0.411	0.160	0.160	0.372	0.160
56		w_s	mm	-	0.07	0.06	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-
57		σ_s	MPa	-	2.00	1.16	1.16	2.00	-	-	-	-	-	-
58	Fracture energy	G_F	J/m^2	277.34	277.34	277.34	154.08	194.67	277.34	277.34	108.00	277.34	277.34	119.24
59														

Obr. 6.12 Výstup Excel – VB tělesa LB FF-54, CMOD 0,2 mm

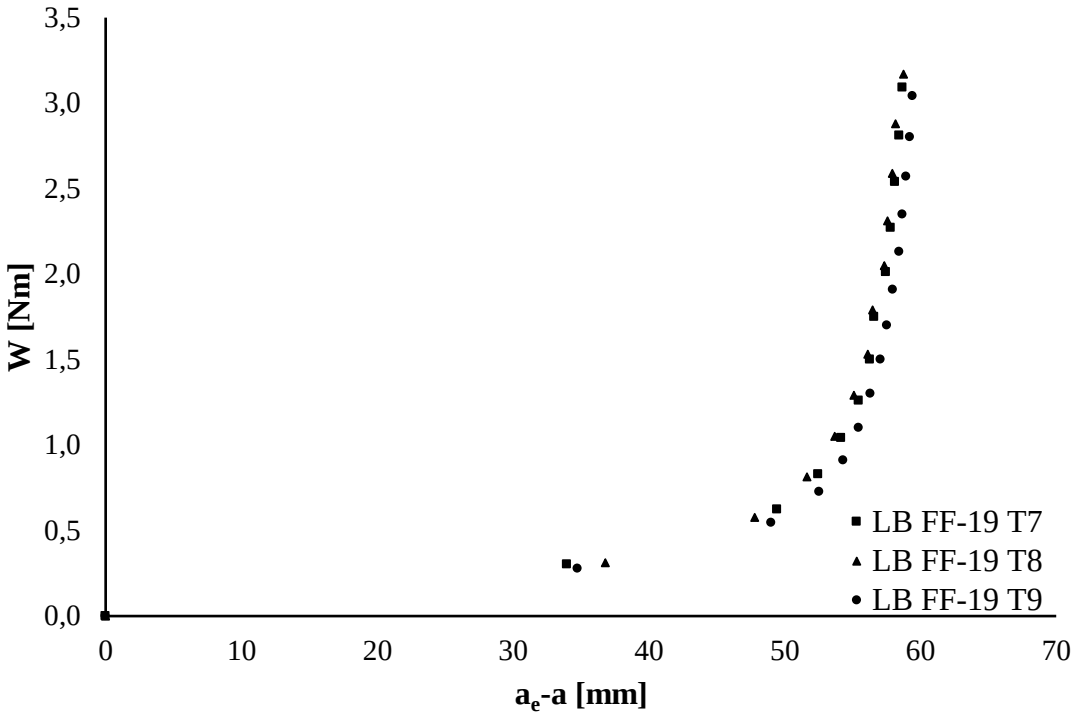


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
58	Fracture energy	G_f	J/m²	277.34	277.34	277.34	154.08	194.67	277.34	277.34	108.00	277.34	277.34	119.24
59														
60				linear			bilinear				nelinear		nelinear (exponenciál)	
61	THE RESULTING VALUES:	SPECIMEN 5	0.3	GF = dáno	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Petersson)	wc=wc_lin (Petersson)	wc=wc_lin + změna bodu 5	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Reinhardt)	wc=wc_lin (Reinhardt)	GF=konst. wc=wc_lin	GF=konst. (Karihaloo)	wc=wc_lin (Karihaloo)
62	Uniaxial tensile strength	f_t	MPa	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
63	Modulus of elasticity	E	GPa	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7
64	Density	γ/g	kg/m³	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5	1920.5
65	Effective crack length	w_c	mm	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86
66	Ratio	a_0/D	-	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756
67	SIF (unstable fracture)	$K_{Ic,un}$	MPa(m)$^{1/2}$	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060	2.060
68	Crit.energy release rate	G_{Ic}	J/m²	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63	290.63
69	SIF (cohesive toughness)	K_{Ic}	MPa(m)$^{1/2}$	1.812	1.812	2.595	1.962	1.902	2.048	2.484	2.048	2.008	2.988	2.068
70	SIF (initiation toughness)	$K_{Ic,ini}$	MPa(m)$^{1/2}$	0.257	0.257	-0.465	0.107	0.168	0.036	-0.415	0.036	-0.021	-0.314	-0.003
71	Critical crack tip opening	CTOD$_c$	mm	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758	0.1758
72	Estimation of load													
73	- without self-weight	P_{Ic}	kN	1.54	1.54	-2.78	0.64	1.00	0.16	-2.48	0.16	-0.14	-1.91	-0.14
74	- with self-weight	P_{Ic}	kN	1.51	1.51	-2.81	0.61	0.98	0.13	-2.51	0.13	-0.16	-1.93	-0.16
75	Ratio of load	P_{Ic}/P_{mp}	-	0.580	0.580	-1.050	0.242	0.378	0.059	-0.937	0.039	-0.052	-0.720	-0.052
76	Ratio of toughness	K_{Ic}/K_{Ic}	-	0.124	0.124	-0.225	0.092	0.081	0.013	-0.201	0.013	-0.011	-0.154	-0.011
77	Critical crack tip opening displacement	w_1	mm	0.160	0.160	0.288	0.160	0.160	0.160	0.411	0.160	0.160	0.372	0.160
78		w_2	mm	-	0.07	0.05	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-
79		σ_1	MPa	-	2.80	1.16	1.16	2.80	-	-	-	-	-	-
80	Fracture energy	G_f	J/m²	277.34	277.34	277.34	154.08	194.67	277.34	277.34	108.00	277.34	277.34	119.24
81														

Obr. 6.13 Výstup Excel – VB tělesa LB FF-54, CMOD 0,3 mm

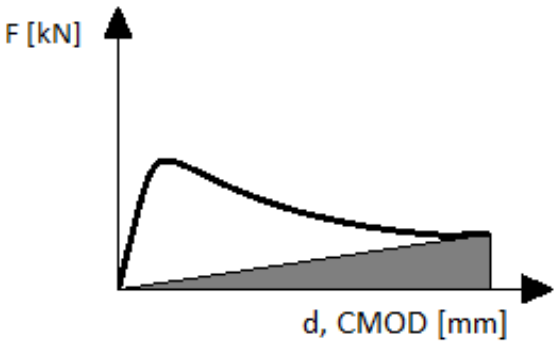


Obr. 6.14 Lomová práce těles LB FF-19 vs. posun



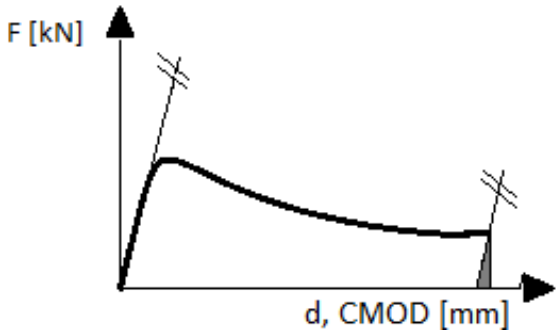
Obr. 6.15 Lomová práce těles LB FF-19 vs. prodloužení efektivní trhliny

Lomová energie G_F byla stanovena pro dvě varianty. První varianta se týká spodní hranice lomové energie. Tato lomová energie se spočítala z upravené lomové práce W_v. Tato práce představuje původní lomovou práci upravenou tak, že od výsledné práce vyla odečtena plocha tzv. velkého trojúhelníku, viz Obr. 6.16.



Obr. 6.16 Znázornění tzv. velkého trojúhelníku

Šedý trojúhelník se odečetl u každého posunu. Druhou variantou byla horní hranice lomové energie, která se taktéž určila z upravené lomové práce W_m, od které byl odečten tzv. malý trojúhelník, viz Obr. 6.17.



Obr. 6.17 Znázornění tzv. malého trojúhelníku

Malý trojúhelník vznikl posunutím rovnoběžky počáteční lineární oblasti do koncového bodu diagramu. Z těchto upravených lomových prací se vypočte lomová energie pro obě varianty. Lomové energie se určí podle:

- tzv. velký trojúhelník

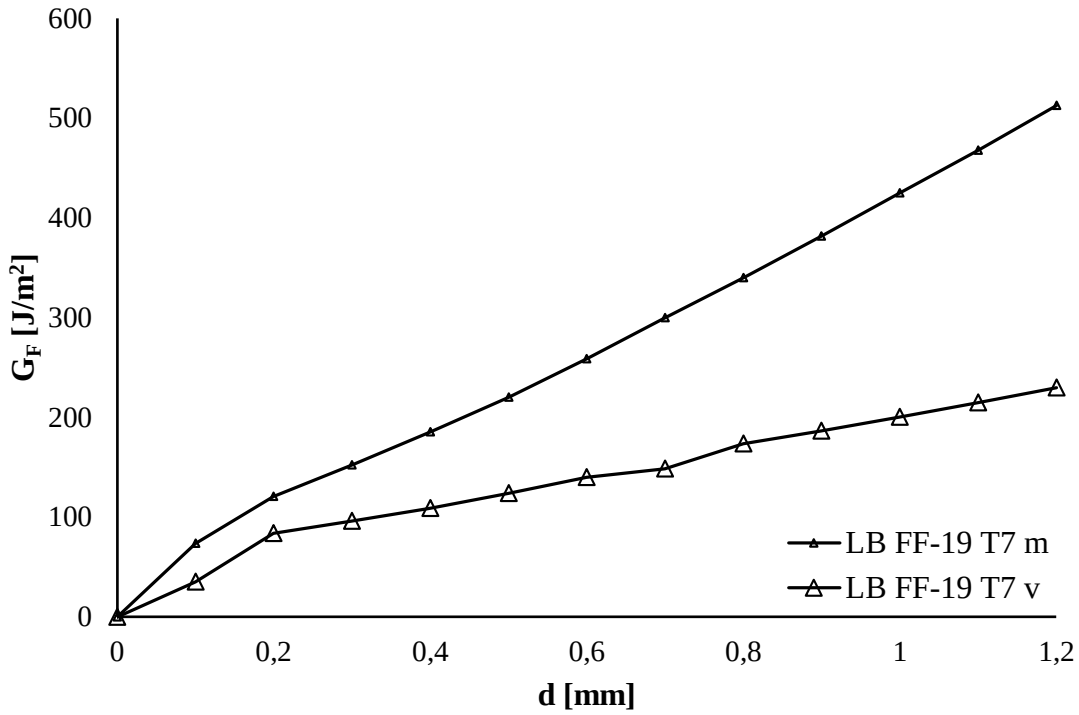
$$G_F = \frac{W_v}{(a_e - a) \cdot B}$$

- tzv. malý trojúhelník

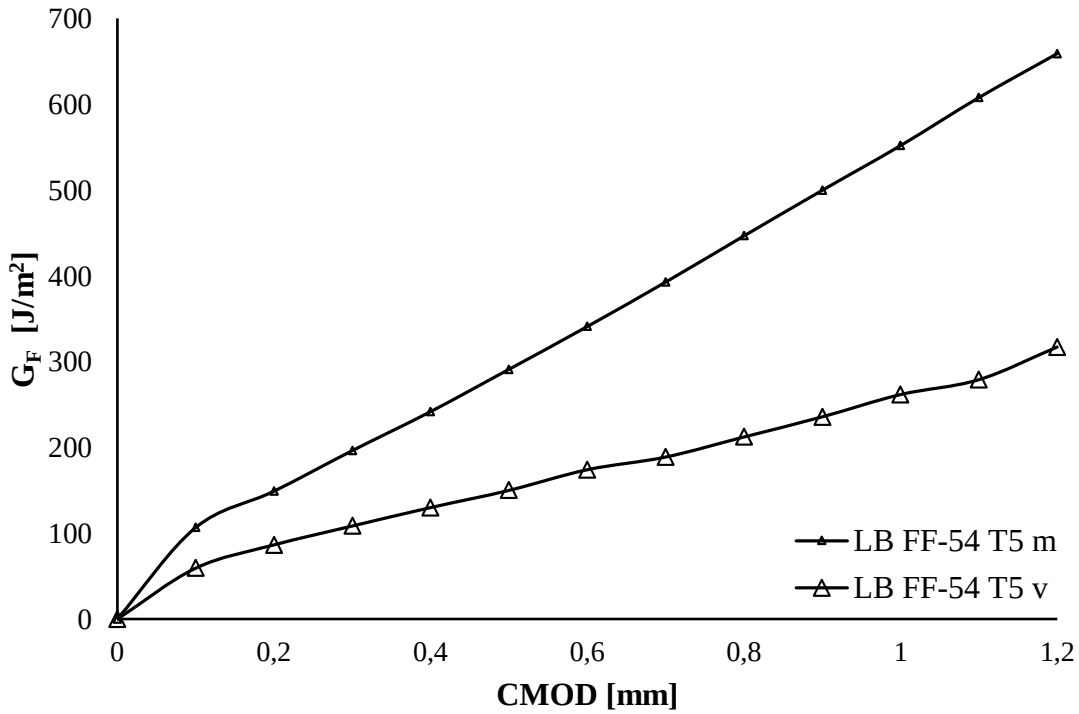
$$G_F = \frac{W_m}{(a_e - a) \cdot B}$$

kde W_v je lomová práce zmenšená o plochu tzv. velkého trojúhelníku, W_m je lomová práce zmenšená o plochu tzv. malého trojúhelníku, a_e délka trhliny i s počáteční m zářezem, a délka zářezu a B šířka daného tělesa. Při zobrazení těchto lomových energii současně, se skutečně disipovaná lomová energie zřejmě nachází mezi horní a dolní hranici lomové energie. Obr. 6.18 vykresluje lomovou energii pro měřený d, a Obr. 6.19 zobrazuje lomovou energii tělesa s měřeným $CMOD$.

Pro ilustraci byly použity pouze dva druhy zkušebních těles. Výsledky pro veškeré tělesa, kterých byly určeny lomové charakteristiky, jsou uvedeny v přílohách.



Obr. 6.18 Lomová energie bez tzv. malého trojúhelníku tělesa LB FF-19 T7 m a bez tzv. velkého trojúhelníku tělesa LB FF-19 T7 v pro měřený posun d



Obr. 6.19 Lomová energie bez tzv. malého trojúhelníku tělesa LB FF-54 T5 m a bez tzv. velkého trojúhelníku LB FF-54 T5 v pro měřený posun CMOD

6.3 Lomově-mechanické parametry

Pro větší přehlednost získaných lomových charakteristik (a kontrolní hodnoty modulu pružnosti) u daných zkušebních těles, jsou uvedeny následující tabulky. Vypsané hodnoty lomových veličin jsou získány z programu StiCrack. $G_{F,m}$ [J/m^2] představuje lomovou energii vyhodnocenou programem StiCrack. G_{Fm} [J/m^2] zastupuje lomovou energií s odečtením disipované energie tzv. malého trojúhelníku a G_{Fv} [J/m^2] je lomová energie disipované energie tzv. velkého trojúhelníku, které nejsou součástí výsledků z programu StiCrack.

LB REF

LB REF	T1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [Mpa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.38	0.7954	29.17	45.41	10.15	0.189
0.2	24.38	0.7954	54.90	72.56	36.12	0.357
0.3	24.38	0.6787	74.40	88.45	61.04	0.483
0.4	24.45	0.7971	116.40	123.75	118.39	0.756
0.5	24.09	0.7848	116.70	122.75	117.07	0.758
0.6	23.95	0.7624	121.50	127.19	120.44	0.789

Tab. 6.5 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T1

LB REF	T3					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	23.43	0.7457	25.77	39.71	8.86	0.168
0.2	23.41	0.7077	38.14	49.93	12.79	0.249
0.3	23.40	0.6657	52.64	112.00	33.50	0.343
0.4	23.43	0.7509	107.10	111.07	107.46	0.699
0.5	23.43	0.7366	108.80	112.63	108.57	0.710
0.6	23.44	0.7234	111.00	114.85	110.96	0.724

Tab. 6.6 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T3

LB REF	T5					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.71	0.7875	20.85	29.39	6.19	0.137
0.2	23.22	0.7417	43.28	57.16	17.06	0.285
0.3	23.17	0.6765	59.81	62.15	46.54	0.393
0.4	23.29	0.7994	111.20	117.05	113.15	0.731
0.5	23.26	0.7836	113.50	117.57	79.67	0.746
0.6	23.24	0.7698	115.50	119.44	115.45	0.759

Tab. 6.7 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T5

LB FF-19

LB FF-19	T7					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.93	1.0390	43.71	73.84	35.13	0.301
0.2	24.93	1.0080	90.46	120.92	83.55	0.623
0.3	24.89	0.9934	120.40	152.38	96.32	0.829
0.4	24.90	0.9760	151.40	185.64	108.94	1.040
0.5	24.90	0.9545	183.70	220.25	123.99	1.260
0.6	24.88	0.9284	218.50	258.60	140.15	1.500
0.7	24.86	0.9173	254.10	299.85	148.48	1.750
0.8	24.85	0.8947	291.40	340.12	173.82	2.010
0.9	24.84	0.8723	329.50	381.96	186.47	2.270
1.0	24.83	0.8531	368.40	425.20	200.43	2.540
1.1	24.81	0.8454	407.80	468.12	214.96	2.810
1.2	24.81	0.8292	448.00	512.61	230.00	3.090

Tab. 6.8 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T7

LB FF-19	T8					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.12	0.9179	45.16	75.29	43.08	0.311
0.2	24.04	0.9122	83.61	115.20	68.62	0.575
0.3	23.96	0.9106	118.10	152.52	87.99	0.812
0.4	23.94	0.9108	152.10	190.73	106.07	1.050
0.5	23.89	0.9156	186.90	229.08	124.58	1.290
0.6	23.83	0.9277	222.80	267.33	142.55	1.530
0.7	23.84	0.9249	259.70	310.68	152.39	1.790
0.8	23.83	0.9127	297.40	351.29	177.88	2.050
0.9	23.80	0.9088	336.50	394.10	185.64	2.310
1.0	23.77	0.8972	376.90	439.50	200.65	2.590
1.1	23.73	0.8864	418.50	486.78	212.80	2.880
1.2	23.71	0.8630	461.40	531.52	245.93	3.170

Tab. 6.9 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T8

LB FF-19	T9					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	23.67	0.8748	41.69	70.20	76.67	0.277
0.2	23.68	0.8745	81.74	109.59	101.15	0.544
0.3	23.70	0.8656	109.20	137.71	119.14	0.727
0.4	23.67	0.8642	136.90	167.40	135.94	0.911
0.5	23.64	0.8521	165.50	198.28	150.69	1.100
0.6	23.64	0.8395	195.00	231.03	163.65	1.300
0.7	23.67	0.8115	225.10	263.44	173.04	1.500
0.8	23.74	0.8007	256.00	296.34	179.61	1.700
0.9	23.75	0.7816	287.70	330.56	183.51	1.910
1.0	23.79	0.7749	320.10	366.12	184.61	2.130
1.1	23.82	0.7590	352.90	402.34	182.56	2.350
1.2	23.87	0.7435	386.40	438.19	176.69	2.570

Tab. 6.10 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-19 T9

LB FF-38

LB FF-38	T1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	16.76	0.7519	43.01	70.16	34.67	0.280
0.2	17.34	0.7715	86.52	118.55	66.03	0.563
0.3	17.66	0.7832	126.70	163.61	87.52	0.825
0.4	17.66	0.7809	167.70	208.97	108.78	1.090
0.5	17.59	0.7729	207.90	253.30	126.64	1.350
0.6	17.57	0.7729	251.30	303.62	145.05	1.640
0.7	17.55	0.7734	294.70	350.90	165.89	1.920
0.8	17.53	0.7703	341.20	402.91	179.46	2.220
0.9	17.52	0.7787	388.00	455.03	208.75	2.530
1.0	17.52	0.7828	437.00	510.19	218.73	2.850
1.1	17.48	0.7553	488.60	567.23	229.68	3.180
1.2	17.44	0.8061	539.80	624.23	255.81	3.520

Tab. 6.11 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T1

LB FF-38	T3					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	21.79	0.9109	49.35	88.09	48.71	0.323
0.2	21.75	0.9063	93.32	132.47	79.31	0.611
0.3	21.68	0.9088	134.10	178.89	97.00	0.878
0.4	21.62	0.9072	178.30	229.96	119.25	1.170
0.5	21.65	0.9495	224.90	283.15	136.23	1.470
0.6	21.64	0.9415	274.10	342.13	152.87	1.800
0.7	21.80	0.9319	324.20	392.35	204.25	2.120
0.8	21.86	0.9193	371.00	446.57	216.78	2.430
0.9	21.97	0.9165	421.50	504.58	226.99	2.760
1.0	22.05	0.8937	475.20	565.76	240.01	3.110
1.1	22.10	0.8794	531.40	629.57	261.84	3.480

Tab. 6.12 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T3

LB FF-38	T8					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	20.72	1.1750	48.25	87.52	45.99	0.319
0.2	20.69	1.1680	93.65	134.35	78.83	0.618
0.3	20.70	1.1590	136.30	183.63	97.93	0.900
0.4	20.67	1.1530	182.90	239.49	115.29	1.210
0.5	20.66	1.1430	234.10	299.83	138.81	1.550
0.6	20.61	1.1470	288.10	362.57	154.29	1.900
0.7	20.57	1.1280	345.20	428.86	183.15	2.280
0.8	20.68	0.7019	404.50	498.46	197.32	2.670
0.9	20.94	0.7777	468.20	572.14	221.90	3.090
1.0	20.78	0.7749	534.90	650.00	240.28	3.530
1.1	19.98	0.8435	605.80	734.13	250.90	4.000
1.2	19.84	0.9632	678.30	816.79	287.19	4.480

Tab. 6.13 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T8

LB FF-54

LB FF-54	T2					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.02	0.9321	48.33	84.95	46.20	0.308
0.2	21.85	0.9277	92.43	130.84	77.28	0.590
0.3	21.67	0.9229	133.80	177.90	96.57	0.854
0.4	21.56	0.9171	177.50	227.35	116.42	1.130
0.5	21.52	0.9133	223.50	281.60	137.42	1.430
0.6	21.49	0.9274	272.20	337.17	158.55	1.740
0.7	21.50	0.9134	322.20	394.28	179.83	2.060
0.8	21.50	0.9083	374.20	453.06	199.87	2.390
0.9	21.47	0.8960	428.20	512.90	224.87	2.730
1.0	21.48	0.8857	482.40	574.10	250.79	3.080
1.1	21.49	0.8718	538.60	636.95	277.88	3.440
1.2	21.47	0.8637	595.00	699.25	305.04	3.800

Tab. 6.14 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T2

LB FF-54	T3					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.71	0.6461	38.34	64.64	38.72	0.246
0.2	19.47	0.6453	68.56	94.57	56.94	0.440
0.3	19.31	0.6545	96.78	125.11	71.84	0.621
0.4	19.24	0.6534	125.30	156.63	85.54	0.804
0.5	19.20	0.6663	154.90	189.51	98.35	0.993
0.6	19.17	0.6682	185.40	223.70	112.03	1.190
0.7	19.13	0.6665	217.00	258.08	126.34	1.390
0.8	19.13	0.6548	249.70	294.52	139.18	1.600
0.9	19.10	0.6523	283.50	332.42	155.05	1.820
1.0	19.05	0.6379	318.10	370.60	166.37	2.040
1.1	19.00	0.6199	353.30	409.41	187.38	2.270
1.2	18.96	0.6140	389.40	449.09	199.00	2.500

Tab. 6.15 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T3

LB FF-54	T5					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.43	0.8999	46.12	80.93	43.94	0.299
0.2	22.41	0.8993	89.10	126.58	72.75	0.577
0.3	22.40	0.8951	129.70	172.21	94.32	0.840
0.4	22.39	0.8912	170.80	219.41	115.28	1.110
0.5	22.38	0.8915	213.00	266.49	133.61	1.380
0.6	22.37	0.8921	256.60	315.12	152.87	1.660
0.7	22.35	0.8965	301.50	365.29	173.72	1.950
0.8	22.34	0.8969	347.40	417.11	194.08	2.250
0.9	22.32	0.8969	394.30	468.07	217.77	2.550
1.0	22.31	0.8971	441.80	521.17	238.87	2.860
1.1	22.29	0.9182	490.40	575.29	266.01	3.180
1.2	22.29	0.9252	539.00	623.54	319.87	3.490

Tab. 6.16 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T5

LB ASHP_12

LB ASHP_12	T2					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.000E+00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	2.597E-05	0.0066	34.19	53.75	9.83	0.230
0.2	2.597E-05	0.0069	53.97	72.57	14.30	0.363
0.3	2.597E-05	0.0069	53.97	65.75	17.98	0.363
0.4	2.597E-05	0.0098	149.80	162.07	152.61	1.010

Tab. 6.17 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T2

LB ASHP_12	T3					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.000E+00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	2.455E-05	0.0064	26.01	37.38	6.98	0.178
0.2	2.455E-05	0.0063	31.23	39.21	21.17	0.213
0.3	2.455E-05	0.0061	47.37	57.04	20.98	0.324
0.4	2.455E-05	0.0057	67.40	73.38	62.02	0.460

Tab. 6.18 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T3

LB ASHP_12	T6					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.000E+00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	2.432E+01	0.8120	21.32	30.58	7.14	0.145
0.2	2.432E+01	0.7997	25.89	32.79	11.75	0.176
0.3	2.431E+01	0.7744	38.03	44.43	24.02	0.259
0.4	2.431E+01	0.7302	52.14	55.64	50.88	0.355

Tab. 6.19 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T6

LB BS55_4,5

LB BS55_4.5	T1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.83	0.6861	30.75	44.69	30.15	0.203
0.3	19.58	0.6808	71.02	88.65	53.03	0.468
0.5	19.41	0.6821	112.40	134.45	70.22	0.740
0.7	19.35	0.6695	158.90	187.18	86.72	1.050
0.9	19.28	0.6480	211.30	245.10	102.43	1.390
1.1	19.29	0.6210	267.10	306.30	131.39	1.760
1.3	19.25	0.5923	326.00	372.21	147.34	2.150
1.5	19.14	0.5774	387.50	437.73	171.69	2.550
1.7	18.97	0.5610	451.50	506.52	206.27	2.970
1.9	18.79	0.5475	515.20	574.93	233.30	3.390
2.1	18.45	0.5278	579.30	644.66	276.19	3.820
2.3	18.02	0.5103	642.60	711.08	319.18	4.230

Tab. 6.20 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T1

LB BS55_4.5	T4					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.76	0.7377	39.75	64.55	38.11	0.268
0.3	24.87	0.7455	88.21	106.73	71.22	0.589
0.5	24.84	0.7549	131.10	152.68	86.93	0.876
0.7	24.83	0.7454	180.70	207.63	101.33	1.210
0.9	24.83	0.7056	237.10	268.08	118.26	1.580
1.1	24.85	0.6767	298.30	333.31	137.95	1.990
1.3	24.84	0.6406	364.10	402.85	160.10	2.430
1.5	24.84	0.6131	433.30	476.99	188.39	2.900
1.7	24.84	0.5894	504.00	550.90	220.98	3.370
1.9	24.83	1.1140	575.90	626.10	256.70	3.850
2.1	24.84	1.1130	648.80	702.61	286.39	4.340
2.3	24.83	1.1100	722.00	779.03	330.31	4.820

Tab. 6.21 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T4

LB BS55_4.5	**T6**					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	30.48	0.8549	29.80	43.89	19.12	0.195
0.3	29.94	0.8434	78.56	91.99	70.96	0.517
0.5	28.66	0.8016	106.00	118.94	80.828	0.697
0.7	28.19	0.6921	137.50	152.54	91.918	0.904
0.9	27.90	0.6502	172.80	191.29	101.210	1.140
1.1	27.67	0.6174	211.50	231.87	113.469	1.390
1.3	27.54	1.1610	252.60	275.48	129.315	1.660
1.5	27.51	1.1550	295.10	320.53	145.763	1.940
1.7	27.57	1.1550	339.40	367.03	164.921	2.230
1.9	27.54	1.1480	384.60	415.42	178.494	2.530
2.1	27.32	1.1470	431.20	464.83	200.672	2.840
2.3	27.44	1.1410	478.10	512.45	222.616	3.140

Tab. 6.22 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T6

LB BS55

LB BS55	T1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	25.52	0.9543	56.39	96.58	60.41	0.379
0.3	25.37	0.9544	124.50	170.25	102.95	0.844
0.5	25.36	1.0070	194.90	236.04	127.82	1.320
0.7	25.35	0.9717	270.40	319.08	159.87	1.830
0.9	25.32	0.9174	351.10	408.66	192.57	2.380
1.1	25.30	0.8998	433.40	495.50	254.26	2.940

Tab. 6.23 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T1

LB BS55	T2					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.96	0.9503	48.19	69.07	38.80	0.321
0.3	20.57	0.8909	114.00	138.85	87.81	0.759
0.5	19.17	0.8501	171.70	199.54	115.18	1.140
0.7	18.68	0.8718	231.40	263.76	143.07	1.540
0.9	18.33	0.8387	294.50	331.41	169.52	1.960
1.1	18.16	0.8133	359.00	399.82	201.62	2.390

Tab. 6.24 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T2

LB BS55	T4					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.66	0.8296	50.53	85.75	50.52	0.343
0.3	24.62	0.8298	125.70	161.59	95.36	0.854
0.5	24.56	0.8306	198.70	242.02	129.568	1.350
0.7	24.45	0.8398	275.70	325.97	165.796	1.870
0.9	24.23	0.8674	354.80	409.13	174.641	2.410
1.1	22.93	0.7933	431.00	492.95	253.443	2.930

Tab. 6.25 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T4

OB REF

OB REF	A1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	33.47	1.2810	48.12	79.18	30.50	0.319
0.2	33.47	1.2660	59.97	78.02	15.28	0.389
0.3	33.47	1.2170	82.36	101.39	40.72	0.546
0.4	33.45	1.1480	109.60	119.13	104.80	0.726

Tab. 6.26 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A1

OB REF	A3					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	30.81	1.1630	41.88	67.52	11.21	0.272
0.2	30.81	1.1630	47.53	60.97	30.74	0.308
0.3	30.80	1.2600	64.09	79.91	3.79	0.416
0.4	30.78	1.2040	90.98	108.56	34.66	0.590
0.4	33.45	1.1480	109.60	119.13	104.80	0.726

Tab. 6.27 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A3

OB REF	A7					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	31.52	0.0087	39.60	60.88	0.53	0.266
0.2	31.52	0.0087	44.38	56.35	31.23	0.298
0.3	31.52	0.0085	58.33	71.69	1.17	0.391
0.4	31.52	0.0081	80.91	93.04	50.93	0.543
0.4	33.45	1.1480	109.60	119.13	104.80	0.726

Tab. 6.28 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A7

OB ASHP_12

OB ASHP_12	T2					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	25.26	1.1330	51.89	86.40	47.32	0.345
0.2	25.26	1.1330	71.26	81.97	50.59	0.427
0.3	25.26	1.1330	85.74	98.10	78.81	0.570
0.4	33.45	1.1480	109.60	119.13	104.80	0.726

Tab. 6.29 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T2

OB ASHP_12	T3					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	28.74	1.2480	48.64	131.17	64.70	0.321
0.2	28.74	1.2480	51.78	213.37	65.24	0.342
0.3	28.74	1.2480	57.57	110.69	47.96	0.380

Tab. 6.30 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T3

OB ASHP_12	T6					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	25.57	1.1610	56.10	50.19	27.10	0.375
0.2	25.57	1.1610	68.26	55.50	20.16	0.457
0.3	25.57	1.1610	81.32	53.01	15.82	0.544

Tab. 6.31 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T6

OB BS55_4,5

OB BS55_4.5	F1					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	23.82	1.5270	54.40	101.14	46.29	0.341
0.3	23.97	1.5400	167.10	219.55	148.12	1.050
0.5	24.53	1.5660	221.00	257.67	195.75	1.380
0.7	24.86	1.6030	261.50	296.64	220.37	1.640
0.9	24.29	1.5720	300.10	334.54	239.71	1.880
1.1	23.68	1.5110	337.70	371.59	255.94	2.110
1.3	23.07	1.4640	375.70	410.95	271.93	2.350
1.5	22.55	1.4250	415.00	452.34	287.45	2.600
1.7	22.09	1.3880	455.90	493.88	301.04	2.850
1.9	21.71	1.3570	498.30	538.58	319.87	3.120
2.1	21.33	1.3310	541.80	583.33	337.42	3.390
2.3	22.95	1.4030	585.80	630.02	353.58	3.670

Tab. 6.32 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F1

OB BS55_4.5	F5					
d [mm]	E [GPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]	$G_{F,m}$ [J/m^2]	G_{Fm} [J/m^2]	G_{Fv} [J/m^2]	W_F [Nm]
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	21.85	1.3540	55.47	113.74	55.04	0.334
0.3	21.84	1.3610	147.40	193.28	134.07	0.887
0.5	22.07	1.3920	205.70	250.76	168.90	1.240
0.7	22.02	1.3820	263.20	311.44	194.55	1.590
0.9	21.97	1.3730	321.70	374.90	219.43	1.940
1.1	21.89	1.3690	382.70	437.63	241.87	2.300
1.3	21.81	1.3690	446.90	507.27	269.13	2.690
1.5	21.72	1.3630	512.90	578.39	297.41	3.090
1.7	21.64	1.3320	580.90	651.06	328.21	3.500
1.9	21.55	1.3080	649.40	723.11	361.70	3.910
2.1	21.49	1.2800	718.10	794.75	397.38	4.320
2.3	21.39	1.2710	787.00	868.04	434.21	4.740

Tab. 6.33 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F5

OB BS55_4.5	F7					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	17.00	1.0690	53.70	100.40	44.38	0.324
0.3	16.99	1.0670	155.30	202.40	133.96	0.938
0.5	17.01	1.0680	215.30	256.64	176.86	1.300
0.7	17.16	1.0760	266.60	309.86	203.43	1.610
0.9	17.09	1.0770	318.90	363.28	227.73	1.930
1.1	16.71	1.0630	371.30	415.75	256.34	2.240
1.3	16.65	1.0630	426.40	475.58	279.06	2.580
1.5	16.34	1.0570	484.00	536.60	288.28	2.920
1.7	16.04	1.0470	544.60	601.62	311.66	3.290
1.9	15.71	1.0320	608.00	668.61	332.59	3.670
2.1	16.49	1.0490	672.30	737.05	337.96	4.060
2.3	17.90	1.0960	739.10	815.15	376.18	4.470

Tab. 6.34 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F7

OB BS55

OB BS55	E7					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	23.25	1.1000	48.48	81.71	44.95	0.326
0.3	23.22	1.0990	117.90	146.37	98.76	0.793
0.5	23.21	1.0920	167.80	196.76	127.62	1.130
0.7	23.19	1.0930	215.00	245.99	152.40	1.450
0.9	23.12	1.0770	263.30	296.09	172.82	1.770
1.1	23.01	1.0530	311.50	345.55	197.40	2.090

Tab. 6.35 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E7

OB BS55	E8					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.67	1.3490	52.80	88.22	43.62	0.354
0.3	21.78	1.3190	141.10	177.78	110.74	0.945
0.5	21.31	1.3090	212.70	252.52	147.68	1.420
0.7	20.85	1.2830	285.30	331.20	181.82	1.910
0.9	20.55	1.2710	360.60	413.04	217.25	2.420
1.1	20.30	1.2500	439.30	496.87	246.24	2.940

Tab. 6.36 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E8

OB BS55	E9					
d [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	22.65	1.0850	56.69	110.93	55.93	0.387
0.3	22.61	1.0840	152.40	202.64	123.50	1.040
0.5	22.63	1.0890	231.90	286.32	166.31	1.580
0.7	22.53	1.0840	310.40	371.31	207.42	2.120
0.9	22.47	1.0830	390.80	458.15	247.19	2.670
1.1	22.40	1.0790	472.70	546.51	286.53	3.230

Tab. 6.37 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E9

U těles s měřeným CMOD jsou výsledky získány pomocí lomové práce W [Nm] z programu StiCrack. Zbylé hodnoty jsou získány v programu Excel – VB. Lomové energie G_{Fm} [J/m^2] a G_{Fv} [J/m^2] jsou opět dopočítány z lomové práce W [Nm] bez tzv. malého trojúhelníku a bez tzv. velkého trojúhelníku a délky trhlin a_e-a [mm].

LB REF

LB REF	**T1**					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.01	14.80	0.2230	323.87	45.41	0.00	0.008
0.02	14.80	0.3930	323.87	72.56	7.23	0.024
0.03	14.80	0.5580	323.87	88.45	15.67	0.052
0.04	14.80	0.6900	323.87	123.75	23.34	0.086
0.05	14.80	0.7960	323.87	122.75	31.06	0.123

Tab. 6.38 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T1

LB REF	**T3**					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.02	11.40	0.3160	328.90	45.41	0.00	0.019
0.03	11.40	0.4650	328.90	72.56	69.40	0.043
0.04	11.40	0.5910	328.90	88.45	36.07	0.076
0.05	11.40	0.6720	328.90	123.75	39.91	0.111
0.06	11.40	0.7280	328.90	122.75	38.82	0.140

Tab. 6.39 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T3

LB REF	**T5**					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.02	11.00	0.3060	322.87	45.41	0.00	0.019
0.03	10.90	0.4490	322.87	72.56	2.79	0.042
0.04	11.00	0.5760	322.87	88.45	29.38	0.073
0.05	11.00	0.6000	322.87	123.75	126.00	0.109
0.06	11.00	0.6670	322.87	122.75	74.52	0.144

Tab. 6.40 Lomové charakteristiky tělesa LB REF T5

LB FF-38

LB FF-38	T1					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	20.50	1.4790	303.83	91.59	46.86	0.295
0.2	20.50	2.1710	303.83	141.41	79.31	0.587
0.3	20.50	2.8730	303.83	186.53	102.76	0.849
0.4	20.50	3.6290	303.83	232.54	123.52	1.110
0.5	20.50	4.2850	303.83	274.65	154.22	1.370
0.6	20.50	4.9290	303.83	323.23	162.87	1.630
0.7	20.50	5.0460	303.83	373.61	179.03	1.910
0.8	20.50	5.9240	303.83	419.27	213.58	2.470
0.9	20.50	6.5710	303.83	471.24	216.88	2.780

Tab. 6.41 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T1

LB FF-38	T3					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	24.30	1.1750	312.49	101.65	57.46	0.344
0.2	24.30	1.1680	312.49	144.15	87.09	0.630
0.3	24.30	1.1590	312.49	189.94	108.38	0.896
0.4	24.30	1.1530	312.49	242.77	123.47	1.180
0.5	24.30	1.1430	312.49	296.27	144.99	1.480
0.6	24.30	1.1470	312.49	351.56	165.27	1.790
0.7	24.30	1.1280	312.49	405.84	225.41	2.170
0.8	24.30	0.7019	312.49	462.16	238.44	2.450
0.9	24.30	0.7777	312.49	515.89	246.90	2.750

Tab. 6.42 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-38 T3

LB FF-54

LB FF-54	T2					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	14.70	1.1170	277.34	124.37	70.56	0.323
0.2	14.70	1.5650	277.34	161.33	97.58	0.604
0.3	14.70	2.0690	277.34	209.31	117.29	0.865
0.4	14.70	2.5490	277.34	259.15	135.90	1.130
0.5	14.70	3.0080	277.34	314.61	157.96	1.420
0.6	14.70	3.4690	277.34	372.52	177.23	1.720
0.7	14.70	3.8840	277.34	430.48	201.72	2.030
0.8	14.70	4.3150	277.34	491.35	221.72	2.350
0.9	14.70	4.7160	277.34	552.72	246.16	2.680
1.0	14.70	5.1240	277.34	618.61	269.87	3.030
1.1	14.70	5.5210	277.34	746.90	290.73	3.370
1.2	14.70	5.8800	277.34	808.93	321.78	3.730

Tab. 6.43 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T2

LB FF-54	T3					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	15.90	1.0360	286.43	82.87	48.74	0.260
0.2	15.90	1.4820	286.43	109.86	67.65	0.459
0.3	15.90	1.9270	286.43	140.44	83.88	0.642
0.4	15.90	2.3590	286.43	171.12	97.66	0.819
0.5	15.90	2.7960	286.43	205.72	111.22	1.010
0.6	15.90	3.1880	286.43	236.96	124.42	1.190
0.7	15.90	3.6060	286.43	273.23	136.50	1.390
0.8	15.90	3.9870	286.43	310.48	152.71	1.600
0.9	15.90	4.3810	286.43	348.11	165.05	1.810
1.0	15.90	4.7630	286.43	387.37	179.05	2.030
1.1	15.90	5.0950	286.43	423.36	196.75	2.240
1.2	15.90	5.4590	286.43	462.16	210.01	2.460

Tab. 6.44 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T3

LB FF-54	T5					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	16.50	1.1710	305.05	106.69	59.42	0.311
0.2	16.50	1.6960	305.05	149.69	86.61	0.588
0.3	16.50	2.2280	305.05	196.44	108.62	0.852
0.4	16.50	2.7080	305.05	241.91	130.13	1.110
0.5	16.50	3.1910	305.05	291.20	150.16	1.380
0.6	16.50	3.6300	305.05	341.08	174.24	1.660
0.7	16.50	4.1110	305.05	392.84	189.01	1.940
0.8	16.50	4.5390	305.05	446.67	212.38	2.240
0.9	16.50	4.9490	305.05	499.85	235.86	2.540
1.0	16.50	5.3310	305.05	552.01	261.88	2.840
1.1	16.50	5.7610	305.05	607.92	279.19	3.150
1.2	16.50	6.0660	305.05	659.20	317.27	3.460

Tab. 6.45 Lomové charakteristiky tělesa LB FF-54 T5

LB ASHP_12

LB ASHP_12	T3					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	23.50	1.5990	328.03	41.36	14.69	0.163
0.2	23.50	2.2660	328.03	47.71	20.56	0.227
0.3	23.50	2.7390	328.03	43.20	26.87	0.227
0.4	23.50	2.9390	328.03	85.20	30.86	0.474
0.5	23.50	0.3010	328.03	116.53	97.17	0.750

Tab. 6.46 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T3

LB ASHP_12	T6					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	27.00	1.6570	332.29	41.49	3.28	0.167
0.2	27.00	2.4640	332.29	47.86	15.75	0.232
0.3	27.00	2.9420	332.29	43.37	18.46	0.232
0.4	27.00	3.2000	332.29	75.94	25.77	0.430
0.5	27.00	0.3030	332.29	101.18	76.07	0.650

Tab. 6.47 Lomové charakteristiky tělesa LB ASHP_12 T6

LB BS55_4,5

LB BS55_4.5	T1					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	14.80	0.8940	316.03	61.56	36.44	0.209
0.2	14.80	1.2670	316.03	82.40	53.12	0.367
0.3	14.80	1.6400	316.03	102.75	64.62	0.498
0.4	14.80	2.0110	316.03	123.31	73.55	0.622
0.5	14.80	2.3800	316.03	145.77	82.38	0.753
0.6	14.80	2.7440	316.03	168.43	100.57	0.884
0.7	14.80	3.1000	316.03	195.84	105.26	1.040
0.8	14.80	3.4690	316.03	220.47	112.79	1.180
0.9	14.80	3.8280	316.03	248.70	120.38	1.340
1.0	14.80	4.1860	316.03	278.76	119.00	1.510
1.1	14.80	4.5420	316.03	301.35	137.15	1.640
1.2	14.80	4.8780	316.03	342.01	148.57	1.870
1.3	14.80	5.1030	316.03	358.33	167.52	1.980
1.4	14.80	5.4440	316.03	402.55	192.51	2.230
1.5	14.80	5.7820	316.03	437.55	198.19	2.430
1.6	14.80	6.0540	316.03	469.34	209.56	2.620
1.7	14.80	6.3940	316.03	504.31	232.23	2.820
1.8	14.80	6.6940	316.30	538.16	242.63	3.020
1.9	14.80	6.9370	316.03	573.16	259.90	3.230
2.0	14.80	7.2430	316.03	609.19	271.31	3.440
2.1	14.80	7.5170	316.03	646.19	293.59	3.660
2.2	14.80	7.7890	316.03	677.79	308.80	3.850
2.3	14.80	8.0380	316.03	716.07	324.32	4.080
2.4	14.80	8.3030	316.03	751.19	345.78	4.290
2.5	14.80	8.5630	316.03	786.00	368.07	4.500
2.6	14.80	8.7900	316.03	820.28	385.25	4.710
2.7	14.80	9.0190	316.03	856.22	405.94	4.930
2.8	14.80	9.2540	316.03	888.91	432.18	5.130

Tab. 6.48 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T1

LB BS55_4.5	T4					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	12.80	0.9830	317.58	108.31	59.99	0.299
0.2	12.80	1.2980	317.58	143.72	98.42	0.595
0.3	12.80	1.5340	317.58	147.56	105.13	0.716
0.4	12.80	1.8430	317.58	166.30	115.11	0.852
0.5	12.80	2.1650	317.58	187.26	123.74	0.987
0.6	12.80	2.5040	317.58	211.26	130.99	1.130
0.7	12.80	2.8150	317.58	211.10	140.64	1.280
0.8	12.80	3.1600	317.58	235.64	144.93	1.430
0.9	12.80	3.4920	317.58	261.44	152.39	1.600
1.0	12.80	3.8190	317.58	290.58	160.25	1.780
1.1	12.80	4.1410	317.58	321.51	166.99	1.960
1.2	12.80	4.4220	317.58	352.23	180.33	2.150
1.3	12.80	4.7550	317.58	383.64	183.80	2.340
1.4	12.80	5.0540	317.58	416.48	194.95	2.550
1.5	12.80	5.3450	317.58	452.00	206.14	2.760
1.6	12.80	5.5920	317.58	487.24	226.11	2.980
1.7	12.80	5.9150	317.58	523.01	230.61	3.200
1.8	12.80	6.2110	317.58	560.85	240.63	3.430
1.9	12.80	6.4790	317.58	599.73	255.15	3.660
2.0	12.80	6.7530	317.58	637.91	267.50	3.890
2.1	12.80	6.9210	317.58	675.91	300.01	4.110
2.2	12.80	7.2450	317.58	709.43	303.43	4.360
2.3	12.80	7.5100	317.58	752.33	316.78	4.600
2.4	12.80	7.7340	317.58	792.06	338.68	4.840
2.5	12.80	7.9760	317.58	830.47	356.68	5.080
2.6	12.80	8.2260	317.58	869.40	370.65	5.320
2.7	12.80	8.4720	317.58	908.56	387.19	5.570
2.8	12.80	8.6980	317.58	949.26	406.19	5.810

Tab. 6.49 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T4

LB BS55_4.5	T6					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	13.40	1.0480	303.48	92.99	40.18	0.254
0.2	13.40	1.4180	303.48	129.00	73.25	0.504
0.3	13.40	1.5460	303.48	171.46	132.78	0.820
0.4	13.40	1.9150	303.48	174.61	137.90	0.945
0.5	13.40	1.9570	303.48	187.15	143.43	1.030
0.6	13.40	2.2340	303.48	201.62	148.41	1.120
0.7	13.40	2.5280	303.48	216.22	152.89	1.210
0.8	13.40	2.8160	303.48	233.20	156.39	1.310
0.9	13.40	3.1270	303.48	251.66	162.86	1.420
1.0	13.40	3.4110	303.48	268.18	167.03	1.520
1.1	13.40	3.6910	303.48	286.94	169.96	1.630
1.2	13.40	3.9910	303.48	307.14	175.75	1.750
1.3	13.40	4.2710	303.48	329.24	181.42	1.880
1.4	13.40	4.5590	303.48	349.46	186.60	2.000
1.5	13.40	4.8290	303.48	371.19	191.88	2.130
1.6	13.40	5.1060	303.48	394.46	201.07	2.270
1.7	13.40	5.3600	303.48	416.06	207.22	2.400
1.8	13.40	5.6180	303.48	439.09	217.44	2.540
1.9	13.40	5.8550	303.48	462.29	225.48	2.680
2.0	13.40	6.1040	303.48	485.69	231.26	2.820
2.1	13.40	6.3640	303.48	508.71	239.87	2.960
2.2	13.40	6.6070	303.48	533.59	248.25	3.110
2.3	13.40	6.8480	303.48	556.85	253.12	3.250
2.4	13.40	7.1020	303.48	581.68	261.04	3.400
2.5	13.40	7.3440	303.48	606.17	272.21	3.550
2.6	13.40	7.5630	303.48	632.16	285.61	3.710
2.7	13.40	7.7770	303.48	657.27	290.00	3.860

Tab. 6.50 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55_4,5 T6

LB BS55

LB BS55	T1					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	34.00	1.8820	299.15	87.29	46.01	0.344
0.2	34.00	2.6610	299.15	134.87	87.33	0.665
0.3	34.00	3.4810	299.15	170.40	105.96	0.898
0.4	34.00	4.2730	299.15	207.24	123.14	1.130
0.5	34.00	5.0430	299.15	244.20	138.26	1.360
0.6	34.00	5.8030	299.15	285.00	154.79	1.610
0.7	34.00	6.5390	299.15	325.66	170.19	1.860
0.8	34.00	7.2630	299.15	367.98	185.75	2.120
0.9	34.00	7.9330	299.15	411.35	205.33	2.390
1.0	34.00	8.6560	299.15	455.57	217.95	2.660
1.1	34.00	9.3340	299.15	500.86	234.32	2.940
1.2	34.00	8.9140	299.15	538.30	352.28	3.260
1.3	34.00	10.3040	299.15	586.40	301.29	3.500
1.4	34.00	11.0050	299.15	630.32	309.61	3.770

Tab. 6.51 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T1

LB BS55	T2					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	21.50	1.3740	329.98	138.01	81.93	0.353
0.2	21.50	1.8800	329.98	151.72	101.40	0.613
0.3	21.50	2.4100	329.98	165.00	106.18	0.789
0.4	21.50	2.9340	329.98	193.80	120.06	0.979
0.5	21.50	3.4640	329.98	225.16	133.48	1.170
0.6	21.50	3.9730	329.98	259.83	149.81	1.370
0.7	21.50	4.4330	329.98	291.54	161.23	1.560
0.8	21.50	4.8930	329.98	328.79	178.77	1.770
0.9	21.50	5.3400	329.98	363.70	193.99	1.970
1.0	21.50	5.8120	329.98	402.18	208.01	2.190
1.1	21.50	6.2320	329.98	438.69	224.98	2.400
1.2	21.50	6.6630	329.98	475.39	240.29	2.620
1.3	21.50	6.7990	329.98	513.04	292.24	2.830
1.4	21.50	7.3950	329.98	546.60	281.00	3.030

Tab. 6.52 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T2

LB BS55	T4					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.80	1.3490	325.65	113.78	65.25	0.368
0.2	19.80	1.8830	325.65	147.44	91.72	0.649
0.3	19.80	2.4310	325.65	185.42	112.43	0.897
0.4	19.80	2.9660	325.65	224.76	130.95	1.140
0.5	19.80	3.4850	325.65	266.14	149.36	1.390
0.6	19.80	3.9910	325.65	307.67	166.15	1.640
0.7	19.80	4.4740	325.65	348.81	182.88	1.890
0.8	19.80	4.9330	325.65	393.21	203.66	2.160
0.9	19.80	5.3920	325.65	435.98	220.69	2.420
1.0	19.80	5.8200	325.65	479.80	241.62	2.690
1.1	19.80	6.2310	325.65	523.19	263.19	2.960
1.2	19.80	6.5360	325.65	562.34	296.29	3.220
1.3	19.80	6.9640	325.65	602.90	309.72	3.470
1.4	19.80	7.2960	325.65	644.65	338.86	3.740

Tab. 6.53 Lomové charakteristiky tělesa LB BS55 T4

OB REF

OB REF	A1					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.01	59.66	0.0050	320.47	0.00	0.00	0.017
0.02	59.66	0.0070	320.47	37.94	16.10	0.059
0.03	59.66	0.0080	320.47	57.94	25.68	0.112

Tab. 6.54 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A1

OB REF	A3					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.01	40.40	0.5270	323.56	0.00	0.00	0.016
0.02	40.40	0.9450	323.56	38.68	15.39	0.058
0.03	40.40	1.2160	323.56	59.45	26.88	0.111

Tab. 6.55 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A3

OB REF	A7					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.01	49.00	0.6460	326.89	0.00	0.00	0.020
0.02	49.00	1.1030	326.89	40.49	15.69	0.069
0.03	49.00	1.3920	326.89	50.85	18.29	0.115

Tab. 6.56 Lomové charakteristiky tělesa OB REF A7

OB ASHP_12

OB ASHP_12	T2					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	27.80	1.7040	341.40	101.42	54.82	0.363
0.2	27.80	2.2690	341.40	115.10	71.15	0.549
0.3	27.80	2.6070	341.40	106.04	70.32	0.572
0.4	27.80	2.7080	341.40	123.06	100.49	0.719

Tab. 6.57 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T2

OB ASHP_12	T3					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	27.10	1.6620	337.57	88.39	43.26	0.317
0.2	27.10	2.3570	337.57	73.93	20.21	0.344
0.3	27.10	2.8050	337.57	80.49	29.52	0.417
0.4	27.10	1.6470	337.57	85.25	81.78	0.530

Tab. 6.58 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T3

OB ASHP_12	T6					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	30.60	1.8580	315.88	110.32	60.32	0.399
0.2	30.60	2.7580	315.88	101.46	30.97	0.466
0.3	30.60	3.2510	315.88	89.87	24.77	0.466
0.4	30.60	3.6280	315.88	104.11	45.81	0.576

Tab. 6.59 Lomové charakteristiky tělesa OB ASHP_12 T6

OB BS55_4,5

OB BS55_4.5	F1					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	15.10	1.2530	322.66	151.29	54.82	0.336
0.2	15.10	1.7800	322.66	226.67	108.36	0.741
0.3	15.10	2.0160	322.66	254.32	153.06	1.040
0.4	15.10	2.1970	322.66	239.93	162.69	1.230
0.5	15.10	2.4290	322.66	281.33	195.27	1.380
0.6	15.10	2.7210	322.66	299.11	205.74	1.510
0.7	15.10	3.0150	322.66	316.59	214.46	1.630
0.8	15.10	3.3250	322.66	335.73	221.73	1.750
0.9	15.10	3.5940	322.66	354.07	231.80	1.870
1.0	15.10	3.8710	322.66	373.21	240.83	1.990
1.1	15.10	4.1610	322.66	393.02	248.20	2.110
1.2	15.10	4.4070	322.66	410.11	257.41	2.220
1.3	15.10	4.7230	322.66	432.88	262.99	2.350
1.4	15.10	4.9870	322.66	452.70	271.29	2.470
1.5	15.10	5.2830	322.66	473.37	275.64	2.590
1.6	15.10	5.5120	322.66	494.36	288.39	2.720
1.7	15.10	5.8380	322.66	517.61	289.90	2.850
1.8	15.10	6.1020	322.66	539.59	297.70	2.980
1.9	15.10	6.3600	322.66	561.54	305.75	3.110
2.0	15.10	6.6430	322.66	585.75	311.90	3.250
2.1	15.10	6.8750	322.66	607.29	322.36	3.380
2.2	15.10	7.1460	322.66	631.31	328.96	3.520
2.3	15.10	7.3970	322.66	655.04	337.65	3.660
2.4	15.10	7.6380	322.66	678.57	347.45	3.800

Tab. 6.60 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F1

OB BS55_4.5	F5					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	17.40	1.3680	296.16	152.65	49.12	0.335
0.2	17.40	1.8640	296.16	216.55	105.60	0.719
0.3	17.40	2.1710	296.16	243.97	141.40	0.985
0.4	17.40	2.5180	296.16	270.83	163.09	1.190
0.5	17.40	2.8880	296.16	298.21	178.98	1.370
0.6	17.40	3.2750	296.16	326.59	191.24	1.540
0.7	17.40	3.6560	296.16	357.96	205.03	1.720
0.8	17.40	4.0310	296.16	387.78	216.40	1.890
0.9	17.40	4.3750	296.16	417.01	229.79	2.060
1.0	17.40	4.7330	296.16	449.23	242.68	2.240
1.1	17.40	5.0960	296.16	479.42	243.38	2.410
1.2	17.40	5.4470	296.16	512.20	263.71	2.590
1.3	17.40	5.8090	296.16	547.00	274.65	2.780
1.4	17.40	6.1600	296.16	579.62	284.10	2.960
1.5	17.40	6.5010	296.16	616.11	297.43	3.160
1.6	17.40	6.8380	296.16	650.45	308.62	3.350
1.7	17.40	7.1690	296.16	686.71	321.37	3.550
1.8	17.40	7.4980	296.16	722.82	333.64	3.750
1.9	17.40	7.8310	296.16	759.24	344.49	3.950
2.0	17.40	8.1460	296.16	797.11	359.03	4.160
2.1	17.40	8.4350	296.16	832.42	375.07	4.360
2.2	17.40	8.7220	296.16	869.70	392.70	4.570
2.3	17.40	9.0280	296.16	905.43	404.97	4.770
2.4	17.40	9.3090	296.16	942.59	422.50	4.980

Tab. 6.61 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F5

OB BS55_4.5	F7					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.10	1.3990	305.85	139.32	51.23	0.336
0.2	19.10	1.9290	305.85	194.37	96.98	0.685
0.3	19.10	2.2870	305.85	223.76	128.34	0.934
0.4	19.10	2.6480	305.85	247.73	147.88	1.120
0.5	19.10	3.0250	305.85	273.32	132.44	1.290
0.6	19.10	3.3290	305.85	292.30	154.16	1.430
0.7	19.10	3.8110	305.85	324.69	156.65	1.600
0.8	19.10	4.2100	305.85	352.77	169.43	1.760
0.9	19.10	4.5960	305.85	380.90	180.35	1.920
1.0	19.10	4.9760	305.85	409.17	190.79	2.080
1.1	19.10	5.2970	305.85	436.16	206.05	2.240
1.2	19.10	5.7040	305.85	465.55	211.90	2.400
1.3	19.10	6.0490	305.85	495.48	223.17	2.570
1.4	19.10	6.4830	305.85	527.50	225.27	2.740
1.5	19.10	6.8530	305.85	560.15	233.46	2.920
1.6	19.10	7.2160	305.85	592.57	243.19	3.100
1.7	19.10	7.5790	305.85	625.10	252.12	3.280
1.8	19.10	7.9280	305.85	659.25	261.86	3.470
1.9	19.10	8.3010	305.85	695.79	269.25	3.670
2.0	19.10	8.6120	305.85	729.21	286.02	3.860
2.1	19.10	8.9790	305.85	765.69	292.73	4.060
2.2	19.10	9.3470	305.85	802.23	302.37	4.260
2.3	19.10	9.6760	305.85	839.68	306.92	4.470
2.4	19.10	9.9770	305.85	581.68	314.38	4.680

Tab. 6.62 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55_4,5 F7

OB BS55

OB BS55	E8					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.10	1.3980	287.12	122.17	81.38	0.366
0.2	19.10	1.9210	287.12	167.34	100.71	0.699
0.3	19.10	2.4110	287.12	205.95	105.45	0.967
0.4	19.10	2.8950	287.12	243.45	119.24	1.210
0.5	19.10	3.3890	287.12	282.64	132.57	1.450
0.6	19.10	3.8690	287.12	322.23	148.79	1.690
0.7	19.10	4.3350	287.12	363.75	160.14	1.940

Tab. 6.63 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E8

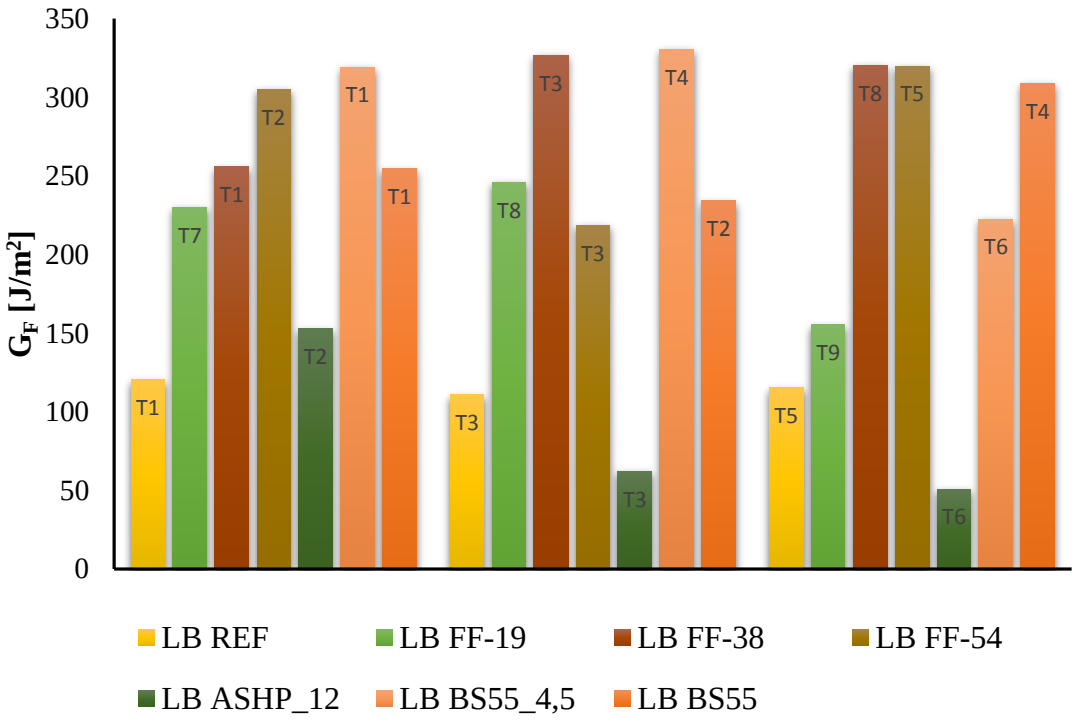
OB BS55	E9					
CMOD [mm]	**E [GPa]**	**K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]**	**$G_{F,m}$ [J/m^2]**	**G_{Fm} [J/m^2]**	**G_{Fv} [J/m^2]**	**W_F [Nm]**
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.000
0.1	19.00	1.4260	288.15	138.20	66.15	0.403
0.2	19.00	1.9670	288.15	187.91	92.98	0.777
0.3	19.00	2.4840	288.15	231.75	113.98	1.080
0.4	19.00	2.9740	288.15	274.19	132.75	1.360
0.5	19.00	3.4530	288.15	316.52	151.42	1.630
0.6	19.00	3.9160	288.15	359.43	168.44	1.900
0.7	19.00	4.3750	288.15	403.00	185.39	2.170

Tab. 6.64 Lomové charakteristiky tělesa OB BS55 E9

7. Shrnutí výsledků

V diplomové práci byly sumarizovány lomově-mechanické parametry pro možnost porovnání řad sérií zkušebních vzorků vybraných betonů, které neobsahovaly vlákna nebo byly s obsahem vláken. Zkušební tělesa byla standardních rozměrů 100 x 100 x 400 mm. Program StiCrack a program v prostředí Excel – VB umožňovaly získat řadu lomově-mechanických parametrů jako je např. lomová práce, lomová energie, lomová houževnatost, efektivní prodloužení trhliny a modul pružnosti.

Jedním z parametrů hodnocení křehkosti zkušebních těles je lomová energie (z lomové práce a ligamentu tělesa). Lomová energie je definována jako množství energie pohlcené tělesem až do úplného porušení. Zjištěním lomové energie lze také podložit určení charakteristické délky materiálu, kterou lze považovat za hrubý odhad velikosti procesní zóny. Lomová energie je ovlivněna velikostí zrn kameniva v betonové směsi. Větší zrna jsou obecně spojena s větší lomovou energií, menší zrna mají za následek křehčí chování kompozitu. Na Obr. 8.1 je srovnání lomové energie těles z lehkého betonu s měřeným posunem *d*. Je zřejmé, že tělesa bez obsahu jakýchkoliv vláken LB REF vykazují malou lomovou energii.

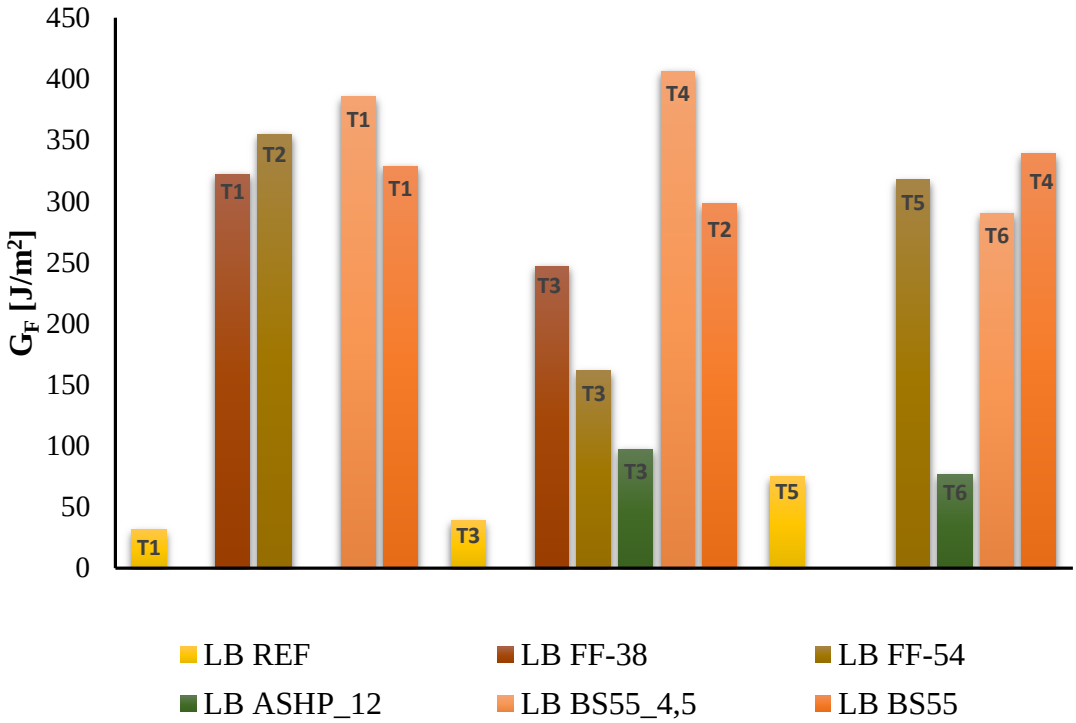


Obr. 8.1 Lomová energie těles z lehkého betonu s měřeným d

Při porovnání těles s obsahem polymerních vláken Forta Ferro s délkou vláken 19, 38, 54 mm je znatelné, že tělesa LB FF-19 potřebují k porušení téměř dvojnásobek lomové energie než tělesa bez vláken LB REF. Při srovnání pouze těles s obsahem polymerních vláken je patrné, že tělesa s délkou vláken 38 mm LB FF-38 se charakterizují větší lomovou energií než vlákna větší délky LB FF-54.

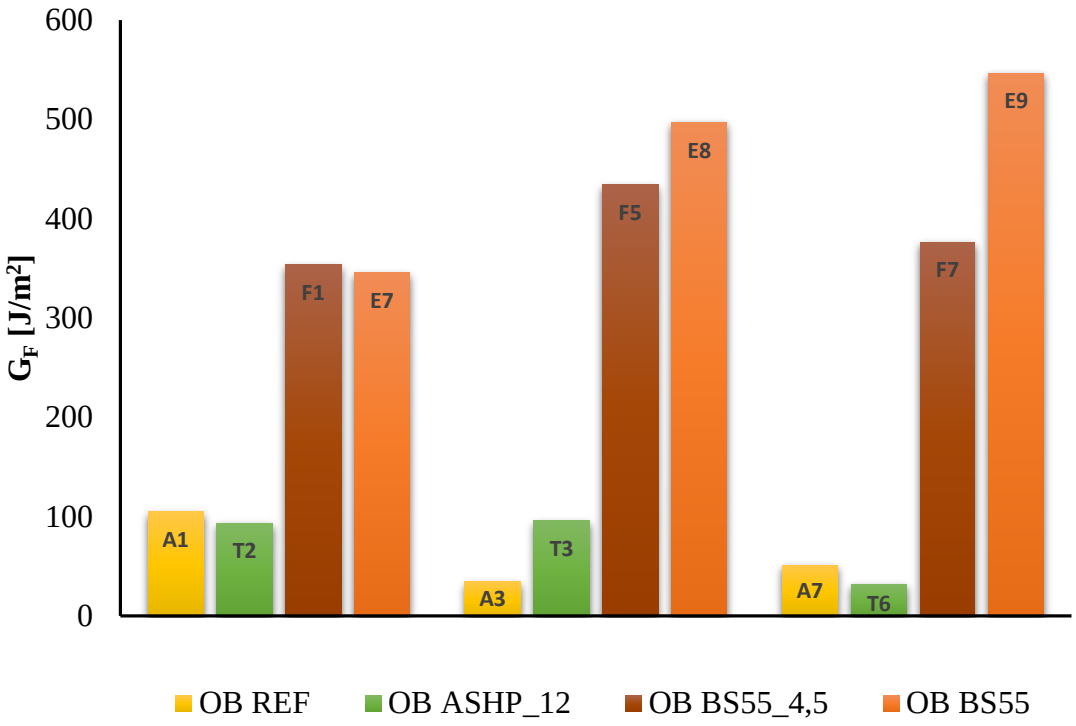
Zajímavé zjištění je u tělesa LB ASHP_12 s obsahem blíže nespecifikovaných vláken, která vykázala nižší odolnost proti lomu než tělesa bez vláken LB REF. Uspokojivé hodnoty lomové energie mají tělesa LB BS_4,5, která zaujímají nejvyšší hodnoty grafu. Zbylé vzorky těles LB BS55 jsou srovnatelné s tělesy s obsahem polymerních vláken FF 38 a 54 mm.

Další graf na Obr. 8.2 znázorňuje opět lomovou energii těles z lehkého betonu, ale u těchto těles není měřen posun *d*, nýbrž *CMOD*. Referenční tělesa LB REF se při měřeném *CMOD* vykreslují s minimální hodnotou lomové energie. U těles s obsahem polymerních vláken má opět větší hodnoty lomové energie tělesa s délkou vláken 38 mm LB FF-38 oproti délce vláken 54 mm LB FF-54. Z toho vyplývá, že ne vždy větší délka vláken zajistí větší lomovou energii. Tělesa s označením LB ASHP_12 mají hodnoty lomové energie větší než tělesa bez obsahu vláken LB REF. Betonová směs těles LB BS55_4,5 a LB BS55 mají – tak jako u měřeného posunu – největší hodnoty lomové energie.



Obr. 8.2 Lomová energie těles z lehkého betonu s měřeným CMOD

U měřeného *CMOD* jsou všechny sady zkušebních těles zhotoveny po 3 vzorcích. Při pohledu na Obr. 8.2 je viditelné, že u tělesa LB FF-38 a LB ASHP_12 jeden vzorek chybí. Je to z důvodu špatného záznamu dat z měření, tím pádem byla naměřená data nepoužitelná.

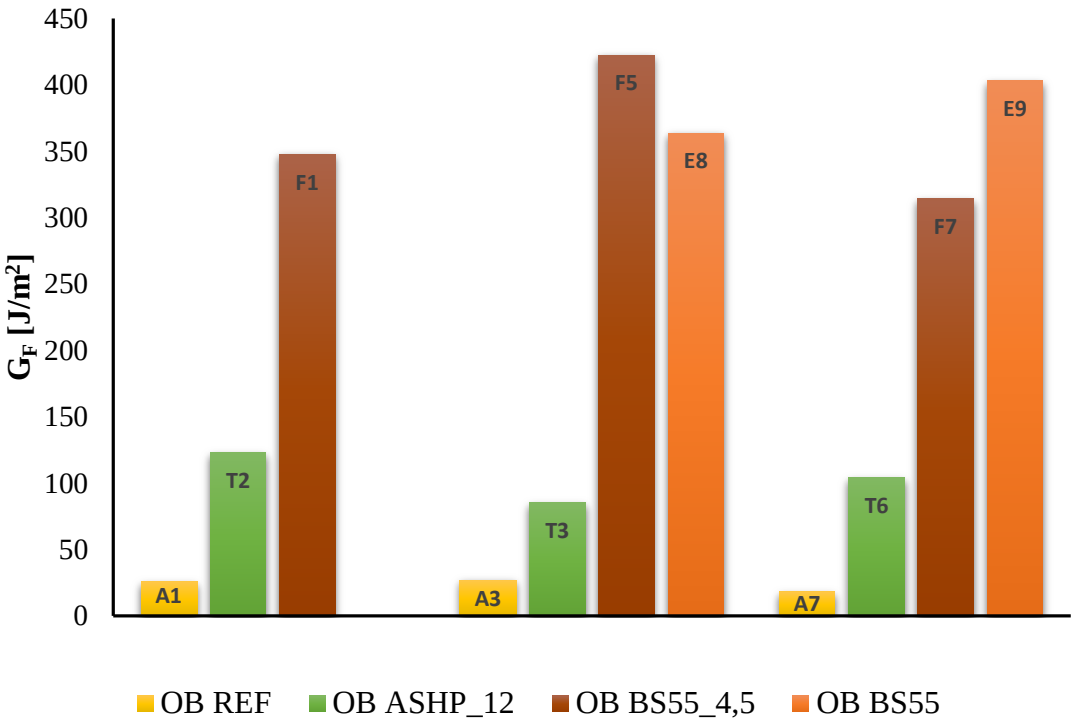


Obr. 8.3 Lomová energie těles z obyčejného betonu s měřeným d

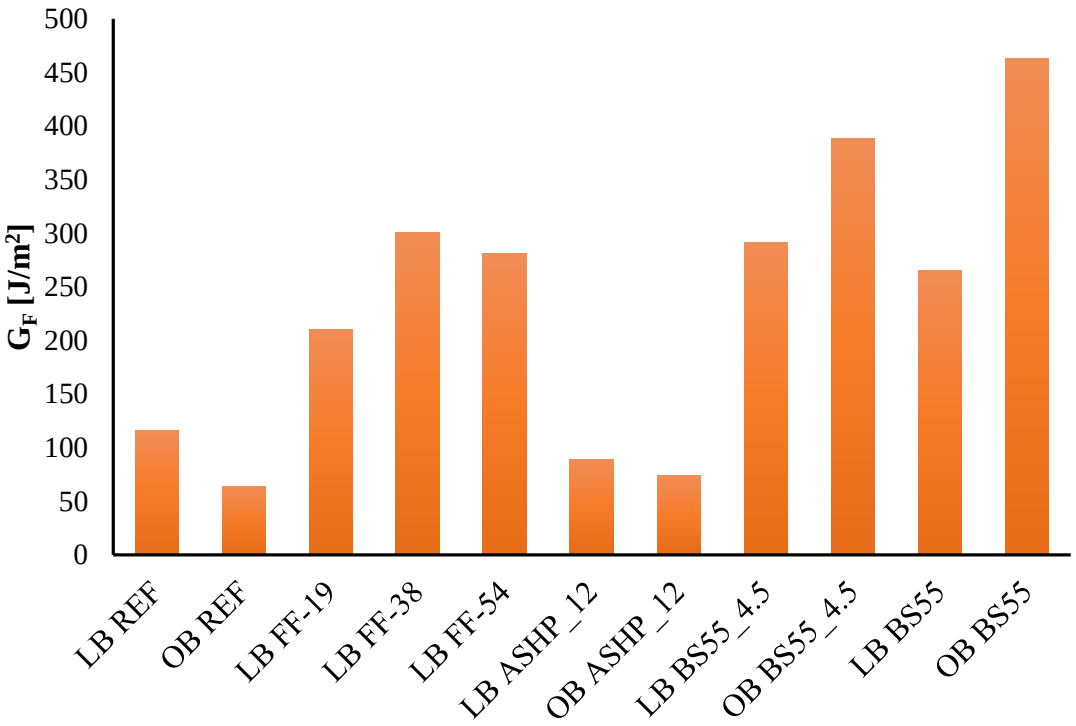
Zkušební tělesa z obyčejného betonu se neprojevují nijak odlišně od předešlých těles z lehkého betonu. Referenční tělesa mají opět nejmenší hodnotu lomové energie. U těles OB ASHP_12 se přidáním vláken vlastnosti vzorků od těles bez vláken neprojevily výraznou změnou. Největších hodnot opět dosahují tělesa OB BS55_4,5 a OB BS55 jak je zřejmé z Obr. 8.3.

Při pohledu na Obr. 8.4 mají opět referenční tělesa nejmenší hodnotu lomové energie. Tělesa s označením OB ASHP_12 mají 100% větší hodnotu lomové energie. Vzorky LB BS55_4,5 a LB BS55 mají opět velké hodnoty lomové energie.

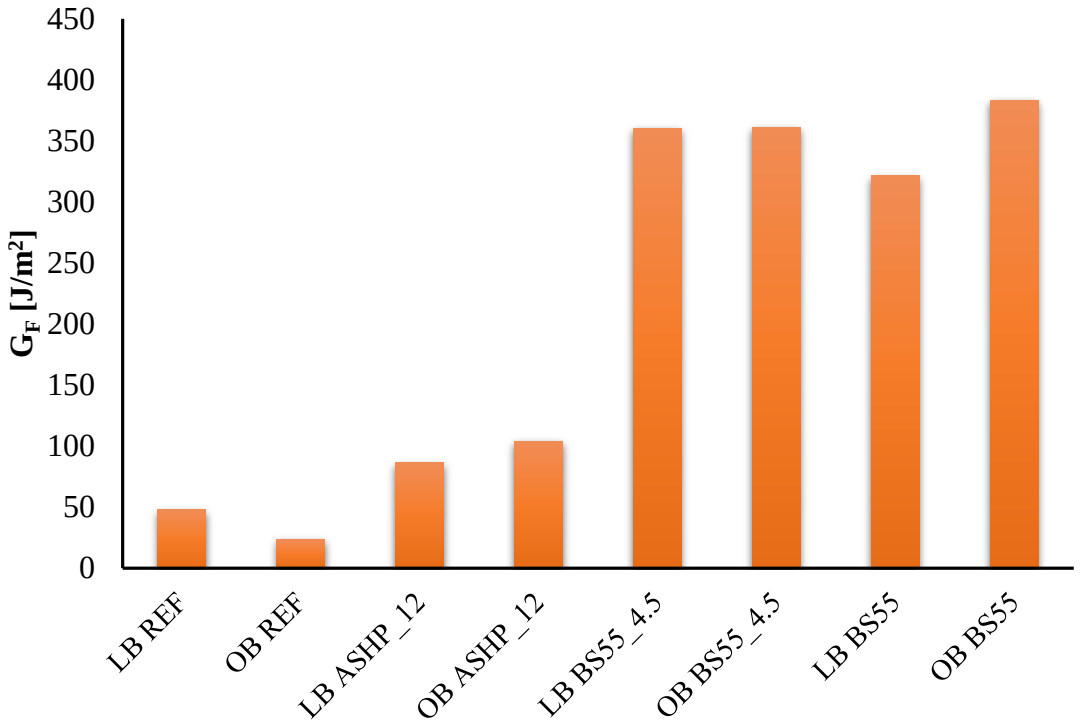
Pro lepší přehlednost a porovnání výsledků mezi tělesy z obyčejného a lehkého betonu jsou na Obr. 8.5, Obr. 8.6 zprůměrovány hodnoty vzorků každého tělesa.



Obr. 8.4 Lomová energie těles z obyčejného betonu s měřeným CMOD



Obr. 8.5 Lomová energie těles z lehkého a obyčejného betonu s měřeným d



Obr. 8.6 Lomová energie těles z lehkého a obyčejného betonu s měřeným CMOD

Dalším parametrem, kterým lze hodnotit křehkost je lomová houževnatost. Lomovou houževnatostí rozumíme odpor materiálu vůči vzniku a následnému růstu trhliny. Je to materiálová charakteristika, pomocí které lze počítat únosnost konstrukce či konstrukčního prvku s trhlinou.

Těleso	f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]		f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]
LB REF	69.71	23.61	0.7502		1.0	1.0	1.0
LB FF-19	63.46	24.15	0.8845		0.9	1.0	1.2
LB FF-38	59.80	19.95	0.9004		0.9	0.8	1.2
LB FF-54	58.62	21.05	0.8183		0.8	0.9	1.1
LB ASHP_12	71.81	24.32	0.7791		1.0	1.0	1.0
LB BS55_4.5	65.63	24.03	0.7838		0.9	1.0	1.0
LB BS55	67.53	23.09	0.8839		1.0	1.0	1.2

Tab. 8.1 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z lehkého betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným d

Těleso	f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]		f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]
LB REF	69.71	12.40	0.5353		1.0	1.0	1.0
LB ASHP_12	71.81	25.25	2.0410		1.0	2.0	3.8
LB BS55_4.5	65.63	13.66	4.9809		0.9	1.1	9.3
LB BS55	67.53	25.10	5.2487		1.0	2.0	9.8

Tab. 8.2 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z lehkého betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným CMOD

Těleso	f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]		f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]
OB REF	69.20	31.93	0.8113		1.0	1.0	1.0
OB ASHP_12	71.81	26.52	1.1801		1.0	0.8	1.5
OB BS55_4.5	64.35	20.59	1.2946		0.9	0.6	1.6
OB BS55	57.86	22.32	1.1555		0.8	0.7	1.4

Tab. 8.3 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z obyčejného betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným d

Těleso	f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]		f_c [MPa]	E [MPa]	K_{Ice} [MPa·m$^{1/2}$]
OB REF	69.20	49.69	0.6499		1.0	1.0	1.0
OB ASHP_12	71.81	28.50	2.4379		1.0	0.6	3.8
OB BS55_4.5	64.35	17.20	5.3100		0.9	0.3	8.2
OB BS55	57.86	19.05	2.9152		0.8	0.4	4.5

Tab. 8.4 Základní lomově-mechanické parametry zkušebních těles z obyčejného betonu a relativní hodnoty k REF s měřeným CMOD

8. Závěr

Byly reprezentovány výsledky vyhodnocení rozsáhlých lomových zkoušek v tříbodovém ohybu těles z lehkého a obyčejného betonu. U obou těchto posuzovaných skupin byla tělesa bez obsahu vláken anebo obsahovala vlákna různého charakteru.

Pro skupinu s měřeným posunem *d* se ukázalo, že přidáním polymerních vláken délek 19, 38 a 54 mm do směsi lehkého betonu podstatně ovlivňují hodnoty sledovaných lomově-mechanických parametrů. Násobně se zvýšily hodnoty lomové energie. U zkušebních těles LB ASHP_12 a OB ASHP_12 se naopak ukázalo, že upravením betonové směsi přidáním vláken se hodnoty lomové energie snížily a referenční tělesa vykazují vyšší hodnoty lomové energie. Nejvyšší lomovou energii získanou z těles betonových směsí přidáním vláken projevují tělesa z OB BS55_4,5 a OB BS55 a to až 4,5 násobně oproti tělesům referenčním.

V případě těles s měřeným *CMOD* mají výsledky podobný charakter. Rozdíl se vyskytl u zkušebních těles LB ASHP_12 a OB ASHP_12, která oproti výsledkům s měřeným posunem *d*, vykazují vyšší hodnoty lomové energie než tělesa referenční.

Přidání vláken ovlivnilo i zvýšení lomové houževnatosti. U těles z lehkého betonu s měřeným posunem *d* se hodnota lomové houževnatosti ve srovnáních s referenčním tělesem zvýšila o 18 % u LB FF-19, o 20 % u LB FF-38, o 9 % u tělesa LB FF-54, o 4 % u tělesa LB ASHP_12, o 4,5 % u LB BS55_4,5 a o 18 % u tělesa LB BS55. Největší vliv na zvýšení lomové houževnatosti mají tělesa s obsahem polymerních vláken a tělesa LB BS55. U těles z obyčejného betonu se zvýšení lomové houževnatosti ukázalo jako výraznější. Zkušební tělesa OB ASHP_12 mají o 45,5 %, OB BS55_4,5 o 60 % a OB BS55 o 42 % větší lomovou houževnatost než tělesa referenční OB REF.

Seznam použitých zdrojů

Literatura

[1] JIRÁSEK, M., ZEMAN, J. *Přetváření a porušování materiálů – dotvarování, plasticita, lom a poškození.* Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2010, 174 s., ISBN: 978-80-01-03555-9.

[2] KOSEK, L., *Lomová houževnatost kovových materiálů a její zkoušení,* bakalářská práce. Brno, 2011. 41 s. Vysoké učení technické v Brně. Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

[3] STIBOR, M. *Lomové parametry kvazikřehkých materiálů a jejich určování*. Brno, 2004. 103 s., 130 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Ústav stavební mechaniky. Školitel Ing. Zbyněk Keršner, CSc.

Normy

[4] ČSN EN 14651 +A1 *Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost),* 2008, 7-13 s.

Internetové adresy

[5] WIKIPEDIA. *Kompozitní materiál.* [online]. [cit. 2013-08-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitn%C3%AD_materi%C3%A1l

[6] VYMAZAL, T. *Struktura a vlastnosti stavebních hmot.* Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví. [online]. [cit. 2013-08-14]. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI01/2%20Strukt ura%20a%20vlastn osti%20stavebn%C3%ADch%20hmot%2020120228%20.pdf

[7] KOMPOZITNÍ MATERIÁLY. *Kompozitní materiály*. [online]. [cit. 2013-08-14]. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompoz itni_materiály.pdf

[8] HUBERTOVÁ, M., HELA, R. *Úvod do technologie vláknobetonů.* [online]. [cit. 2013-08-14].
Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/Materialy/Vyuziti-vlaken-v-technologii-lehkych-samozhutnitelnych-betonu.html

[9] RŮŽIČKA, M., JURENKA, J., HRUBÝ, Z., Pevnost *a životnost Jur I.,* [online]. [cit. 2013-12-03].
Dostupné z: http://mechanika.fs.cvut.cz/content/files/PZ/PZ_Jur01_web2012.pdf

[10] HUTAŘ, P., NÁHLÍK, L., *Elasto-plastická lomová mechanika, J – integrál,* [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: http://student.chytrak.cz/unava/10%20J-integral.pdf

[11] VOJTĚCH, D., NOVÁK, P., *Fyzikální degradace materiálů.* Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, [online]. [cit. 2013-12-4]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_5.pdf

[12] Vybrané vlastnosti vrstvených materiálů. *Zkoušky mechanických vlastností.* [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://www.noze-nuz.com/recenze/vlastnosti-damasku/vlastnosti-damasku.php

[13] Zkoušky založené na principu šíření defektů. *Zkoušky lomové houževnatosti.* Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/Zk_sireni_trhlin%2009_10.pdf

[14] Zkouška vrubové houževnatosti rázem v ohybu. *Charpyho kladivo.* [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_tech/externi/kat_tech_2146/2.4.1_vrubova_zkouska_houzevnatosti_razem_v.doc.

[15] Tříbodový ohyb. *Zkušební těleso.* [online]. [cit. 2013-12-08], Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=t%C5%99%C3%ADbodov%C3%BD+ohyb&espv=210&es_sm=122&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=F-ikUqzoEsWWtAbJ3IHADg&ved=0CD0QsAQ&biw=1366&bih=666#es_sm=122&espv=210&q=zkou%C5%A1ka+t%C5%99%C3%ADbodov%C3%BD+ohyb&tbm=isch&facrc=_&imgrc=FY7xkS49J_js2M%3A%3BqUm84sOhgW5WZM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.kitnarf.cz%252Fpublications%252F2007%252F2007.10.experiment%252Fobr1.png%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.kitnarf.cz%252Fpublications%252F2007%252F2007.10.experiment%252F2007.10.experiment.html%3B439%3B193

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
a	délka trhliny	mm
A	práce vnějších sil	Nm
a_e	délka prorostlé trhliny	mm
a_o	hloubka zářezu	mm
B	tloušťka tělesa	m
c	poloviční délka trhliny	mm
$CMOD$	crack mouth opening displacement	mm
d	posun	mm
da	přírůstek	-
E	modul pružnosti	Pa
F	zatěžovací síla	N
f_c	pevnost v tlaku	Pa
$f^f_{ct,L}$	mez úměrnosti	N/mm^2
F_j	zatížení odpovídající CMOD = CMODj nebo δ = δj	N
F_L	zatížení odpovídající mezi úměrnosti	N
$f_{R,j}$	zbytková pevnost v tahu za ohybu	N/mm^2
G	hnací síla trhliny	J/m^2
G_f	lomová energie	J/m^2
$G_{f,m}$	lomová energie tzv. malého trojúhelníku	J/m^2
$G_{f,v}$	lomová energie tzv. velkého trojúhelníku	J/m^2
G_{fm}	lomová energie z programu StiCrack	J/m^2
h	výška tělesa	m
H_o	šířka zářezu	mm
h_{sp}	vzdálenost mezi koncem zářezů a horní hranou zkuš. tělesa	mm
J	J – integrál	-
$k(\alpha)$	pomocná funkce	-
KC	vrubová houževnatost	J/cm^2
K_I	faktor intenzity napětí	Pa·$\sqrt{m}$
K_{Ice}	efektivní kritický faktor intenzity napětí, lomová houževnatost	Pa·$\sqrt{m}$
L	délka tělesa	m
m	hmotnost	kg
R	hodnota spolehlivosti	-
R	odpor tělesa proti šíření trhliny	-
R_c	mez kluzu materiálů	Pa
S	velikost lomové plochy	m^2
S	vzdálenost válečkových podpor	mm
U	deformační energie	J
u_y, u_x	složky posuvů	-
W	hustota deformační energie	

w	průhyb	mm
W_m	lomová práce bez tzv. malého trojúhelníku	Nm
Wv	celková energie tělesa	J
W_v	lomová práce bez tzv. velkého trojúhelníku	Nm
$W\gamma$	disipační energie trhliny	J
x_o	hodnota posunu v úpravě grafu	-
γ	integrační cesta kolem kořene trhliny	-
γ_k	specifická kinetická energie	J/m^2
γ_o	specifická potenciální povrchová energie	J/m^2
γ_{pl}	specifická potenciální energie plastické deformace	J/m^2
δ_c	kritické otevření trhliny	mm
σ_{kr}	kritická hodnota napětí	Pa
σ_y	normálové napětí	Pa
τ_{xy}	smykové napětí	Pa
∂	derivace	-

Seznam příloh

P1. Rozměry zkušebních těles 91
P1.1 Tělesa z lehkého betonu 91
P1.2 Tělesa z obyčejného betonu 93
P2. Upravené (posunuté) grafy a rovnice s hodnotou x_o 94
P2.1 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{d}$ 94
P2.2 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 108
P2.3 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{d}$ 120
P2.4 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 128
P3. Vstupní data pro program StiCrack $\boldsymbol{d}$ 136
P3.1 Tělesa z lehkého betonu 136
P3.2 Tělesa z obyčejného betonu 140
P4. Vstupní data pro program Excel - VB $\boldsymbol{CMOD}$ 142
P4.1 Tělesa z lehkého betonu 142
P4.2 Tělesa z obyčejného betonu 145
P5. Lomová práce zkušebních těles 147
P5.1 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{d}$ 147
P5.2 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 161
P5.3 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{d}$ 173
P5.4 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 181
P6. Iniciace trhlin zkušebních těles 189
P6.1 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{d}$ 189
P6.2 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 193
P6.3 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{d}$ 197
P6.4 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 199
P7. Lomová energie vs. délka trhlin 201
P7.1 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{d}$ 201
P7.2 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 215
P7.3 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{d}$ 225
P7.4 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 233
P8. Lomová energie zkušebních těles 240
P8.1 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{d}$ 240
P8.2 Tělesa z lehkého betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 254
P8.3 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{d}$ 265
P8.4 Tělesa z obyčejného betonu – $\boldsymbol{CMOD}$ 272

P1. Rozměry zkušebních těles

P1.1 Tělesa z lehkého betonu

LB REF	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T1	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	97.96	100.37	34.06	2.14	7674
T3	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	98.46	100.46	34.20	2.22	7617
T5	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	98.90	100.26	33.78	2.26	7645

LB FF-19	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T7	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	101.69	99.99	32.27	2.49	7680
T8	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	100.56	100.22	32.50	2.52	7619
T9	19. 7. 10	16. 8. 10	28	400.00	98.68	100.05	32.62	2.47	7531

LB FF-38	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T1	14. 7. 10	11. 8. 10	28	400.00	99.06	100.16	34.42	2.64	7479
T3	14. 7. 10	11. 8. 10	28	400.00	99.63	100.40	34.64	2.55	7463
T8	14. 7. 10	11. 8. 10	28	400.00	100.40	100.09	34.34	2.49	7615

LB FF-54	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T2	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	98.09	100.05	35.00	2.48	7539
T3	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	98.19	100.04	34.73	2.45	7541
T5	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.00	98.04	100.18	34.11	2.36	7594

LB ASHP_12	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T2	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	98.39	100.07	31.78	2.49	7600
T3	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	100.04	100.28	31.99	2.53	7738
T6	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	99.60	100.12	31.70	2.52	7713

LB BS55_4,5	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T1	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	101.18	100.12	35.70	2.43	7841
T4	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	99.92	100.23	32.73	2.61	7908
T6	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	99.60	100.03	34.30	2.46	7798

LB BS55	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T1	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	100.99	100.25	33.10	2.45	7797
T2	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	99.24	100.25	33.18	2.40	7659
T4	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	100.97	100.38	33.06	2.44	7826

P1.2 Tělesa z obyčejného betonu

OB REF	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
A1	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.27	100.79	100.78	34.99	2.21	9199
A5	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.23	99.07	100.40	34.91	2.21	8980
A7	28. 6. 10	26. 7. 10	28	400.13	101.45	100.60	34.46	2.21	9102

OB ASHP_12	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
T2	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	97.23	100.32	31.90	2.62	8889
T3	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	97.24	99.88	31.95	2.46	8870
T6	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	97.83	100.23	31.87	2.62	8913

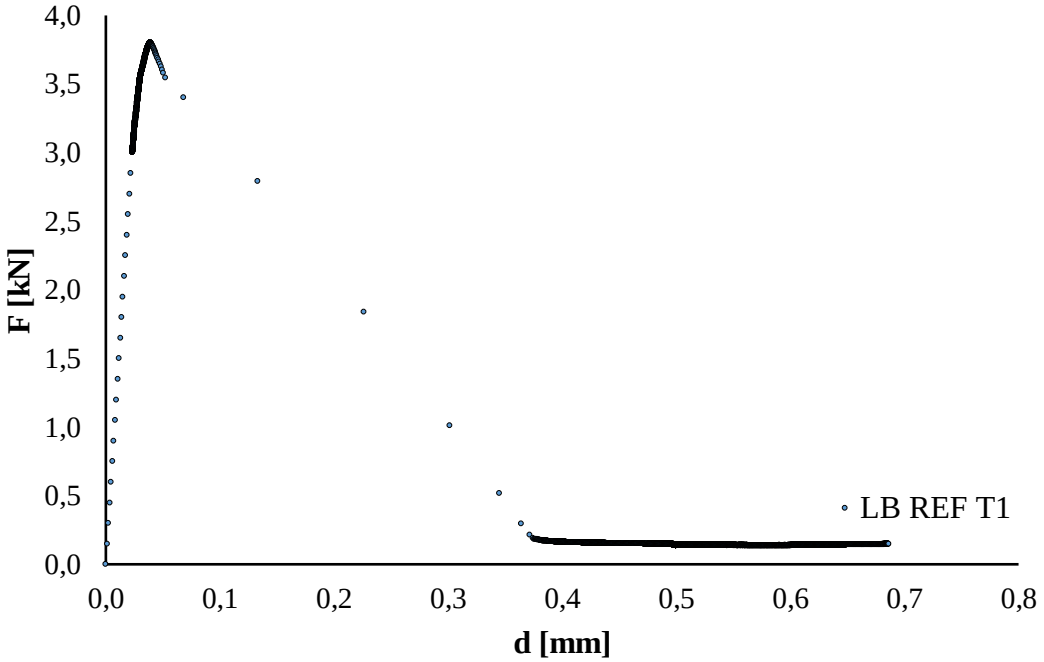
OB BS55_4,5	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
F1	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	99.95	100.29	37.66	2.39	9102
F5	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	100.27	100.16	40.11	2.55	9118
F7	27. 7. 10	24. 8. 10	28	400.00	100.16	100.24	39.92	2.46	9124

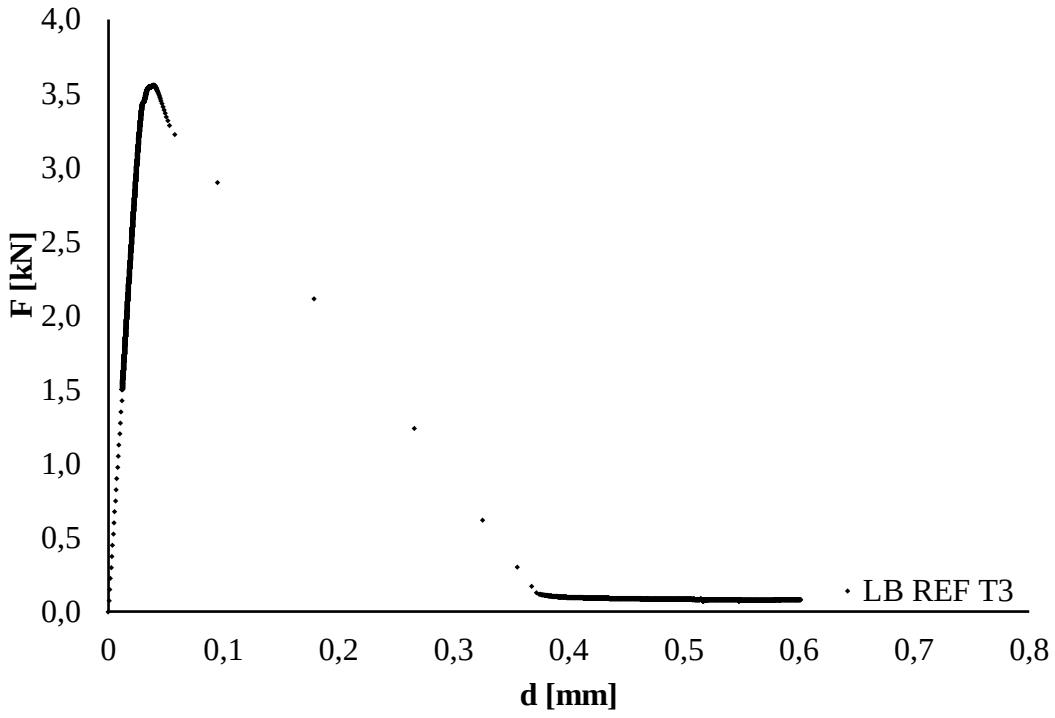
OB BS55	datum výroby	datum zkoušení	stáří [dny]	délka	šířka	výška	hloubka zářezu	šířka zářezu	hmotnost
				L [mm]	B [mm]	D [mm]	a_o [mm]	[mm]	m [g]
E7	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	99.16	100.16	32.33	2.62	8740
E8	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	99.11	100.42	32.81	2.42	8734
E9	22. 7. 10	19. 8. 10	28	400.00	101.99	100.67	33.69	2.42	9013

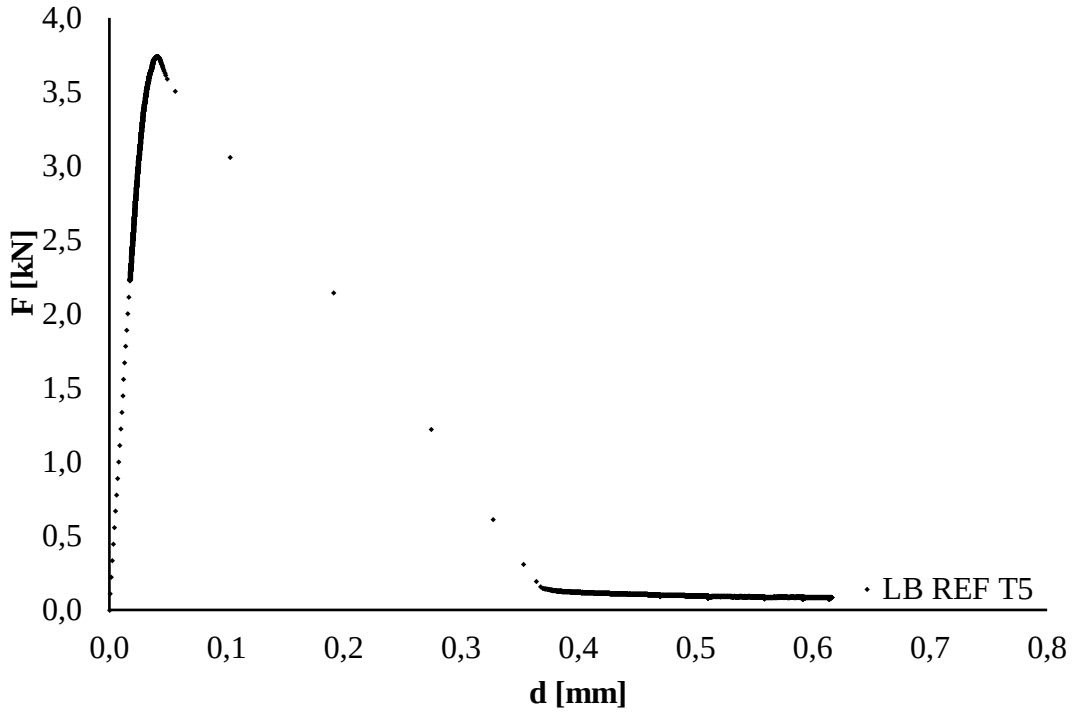
P2. Upravené (posunuté) grafy a rovnice s hodnotou x_o

P2.1 Tělesa z lehkého betonu – *d*

LB REF

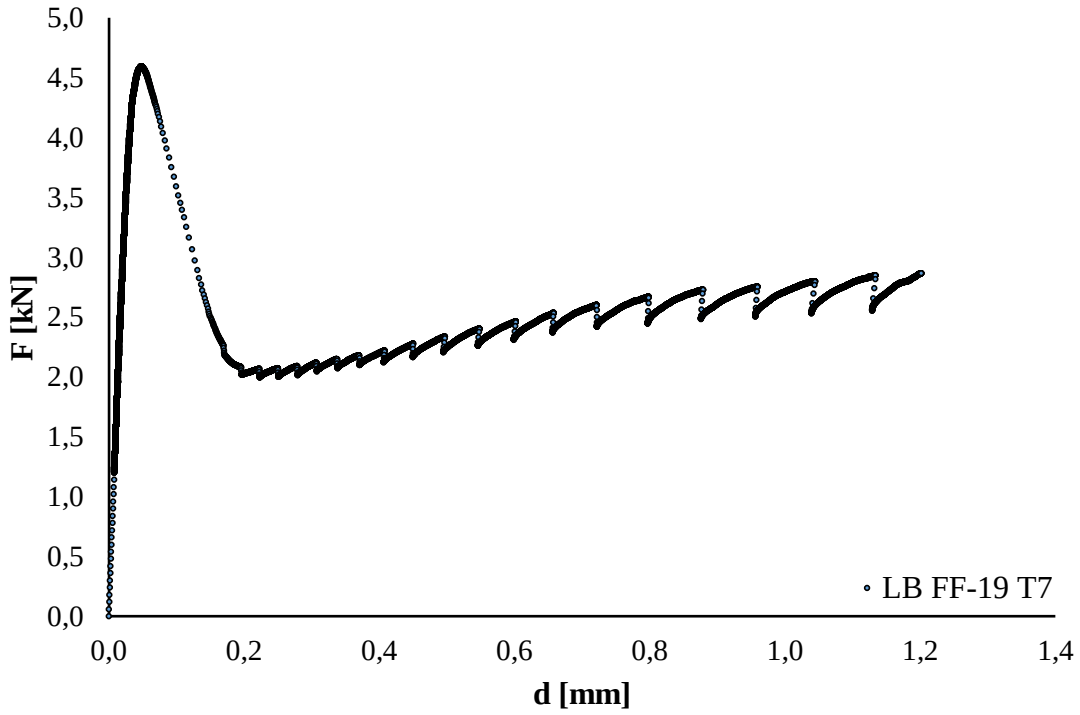


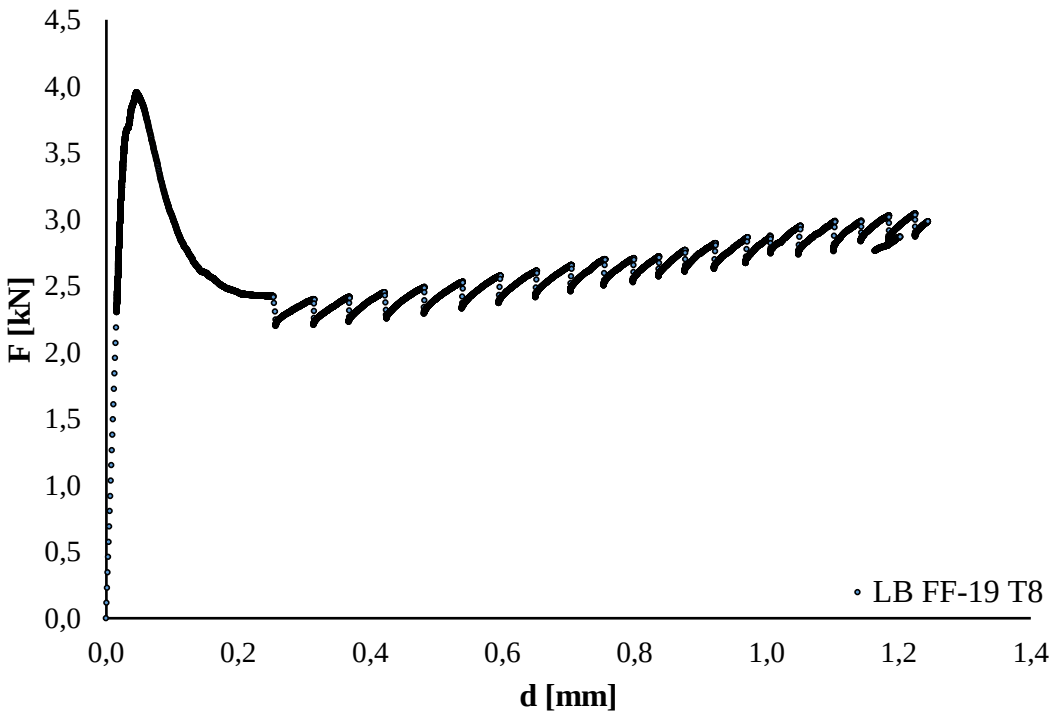


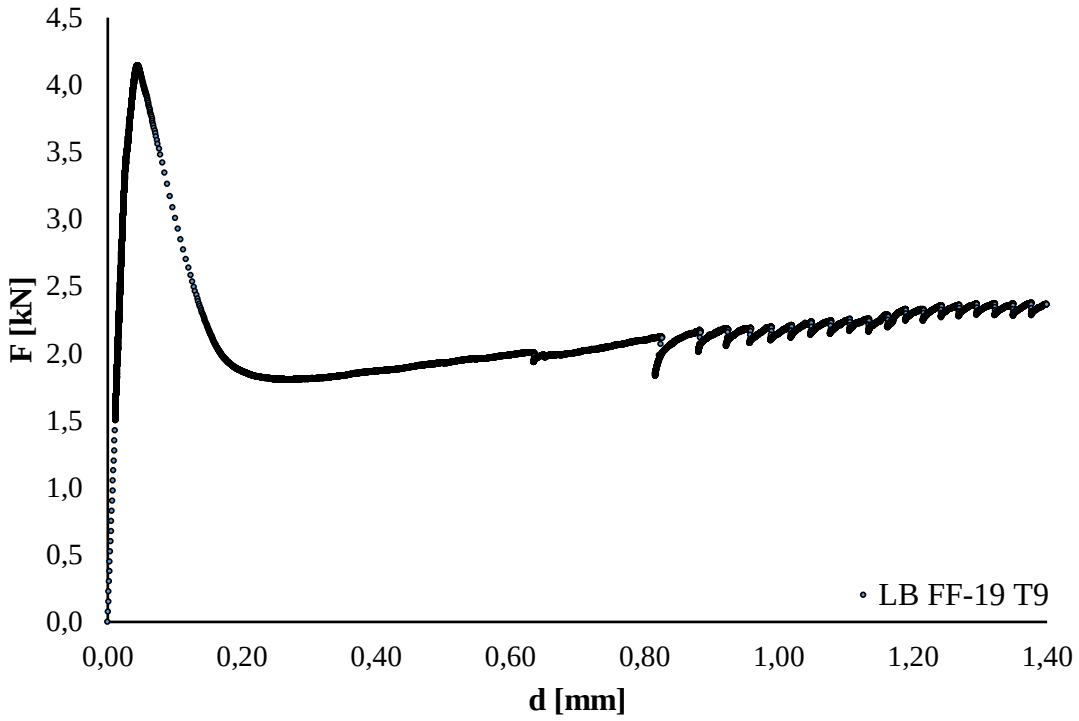


LB REF	y = ax + b	x_0	R^2
T1	y = 130.17x - 0.0124	9.5260E-05	0.9999
T3	y = 121.47x + 0.0682	-5.6146E-04	0.9997
T5	y = 127.28x + 0.0009	-7.0710E-06	0.9999

LB FF-19

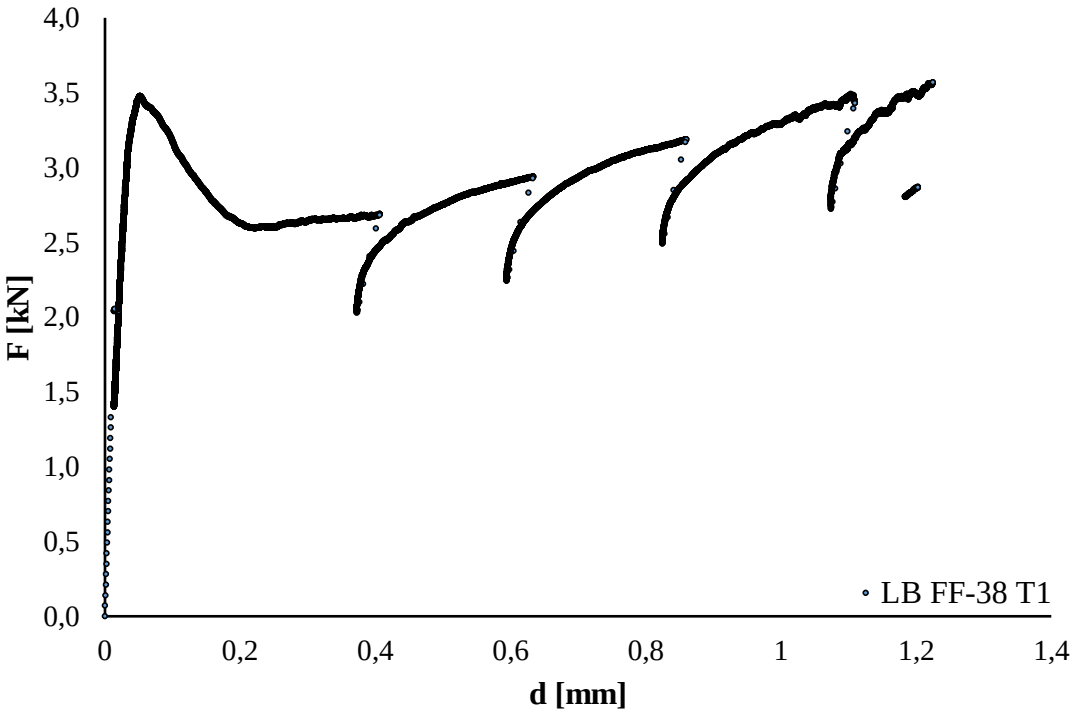

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]
LB FF-19 T7

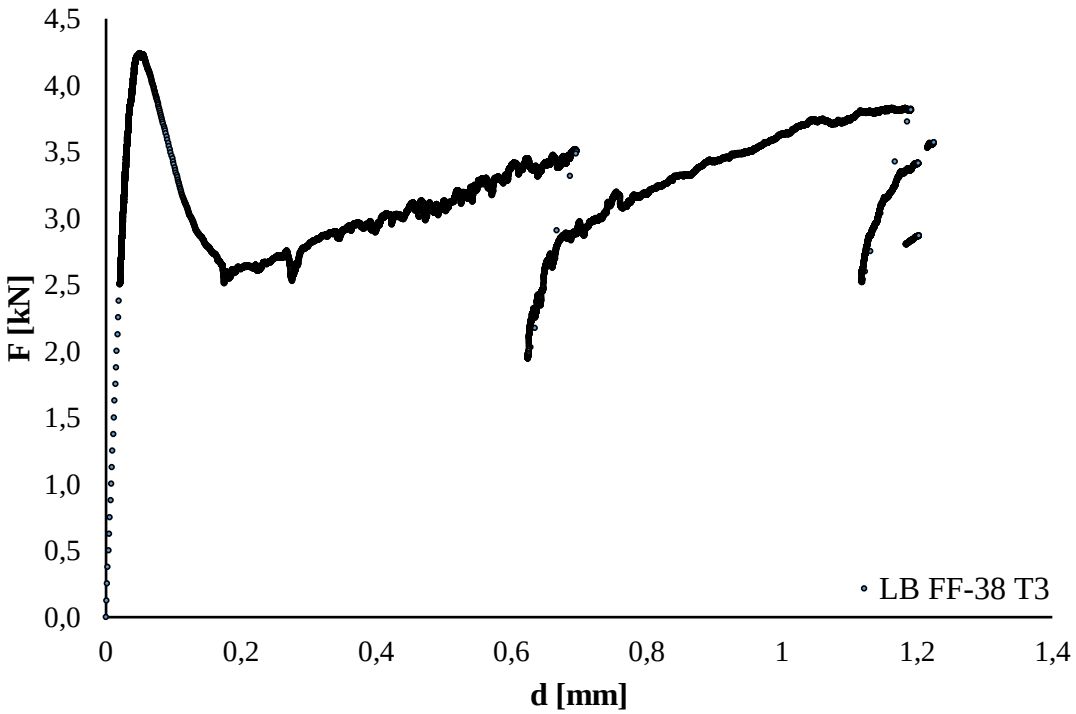

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]
LB FF-19 T8

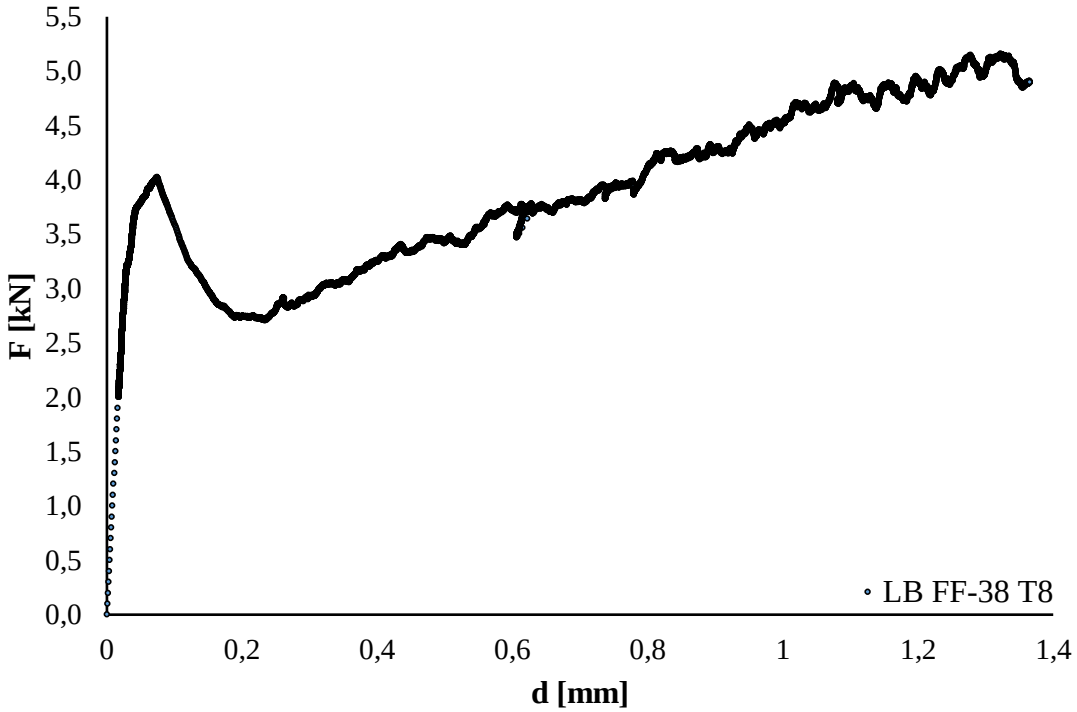


LB FF-19	y = ax + b	x_0	R^2
T7	y = 140.72x + 0.0203	-1.4426E-04	0.9989
T8	y = 142.19x + 0.1213	-8.5308E-04	0.9980
T9	y = 128.53x + 0.0386	-3.0032E-04	0.9993

LB FF-38

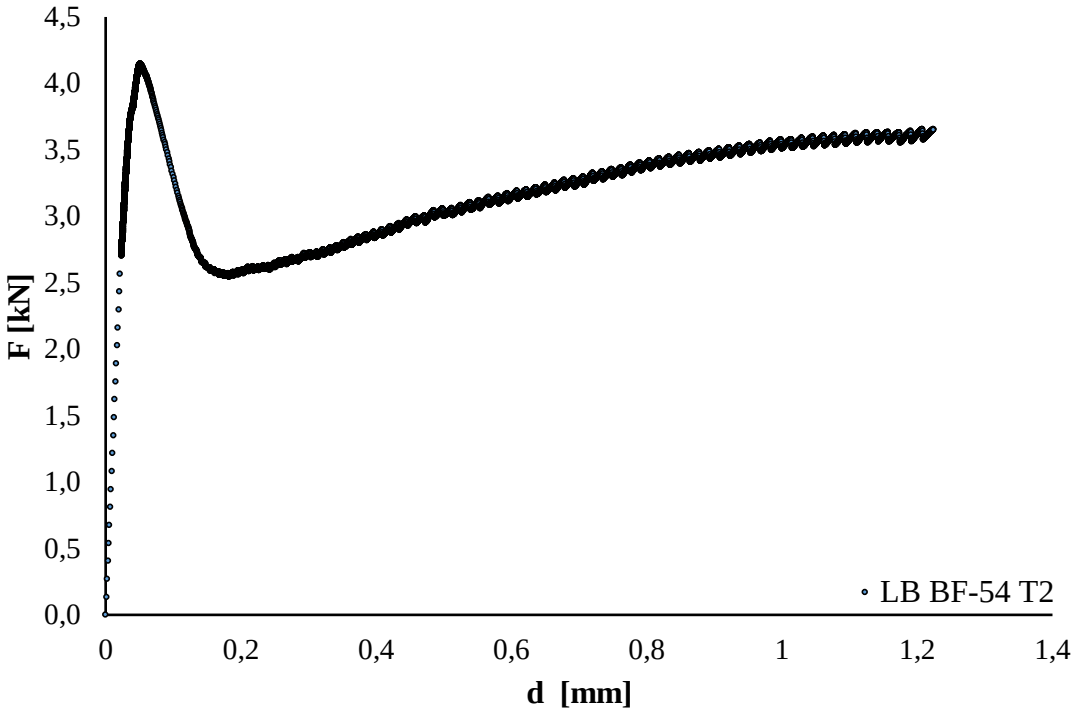

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
d [mm]
LB FF-38 T1

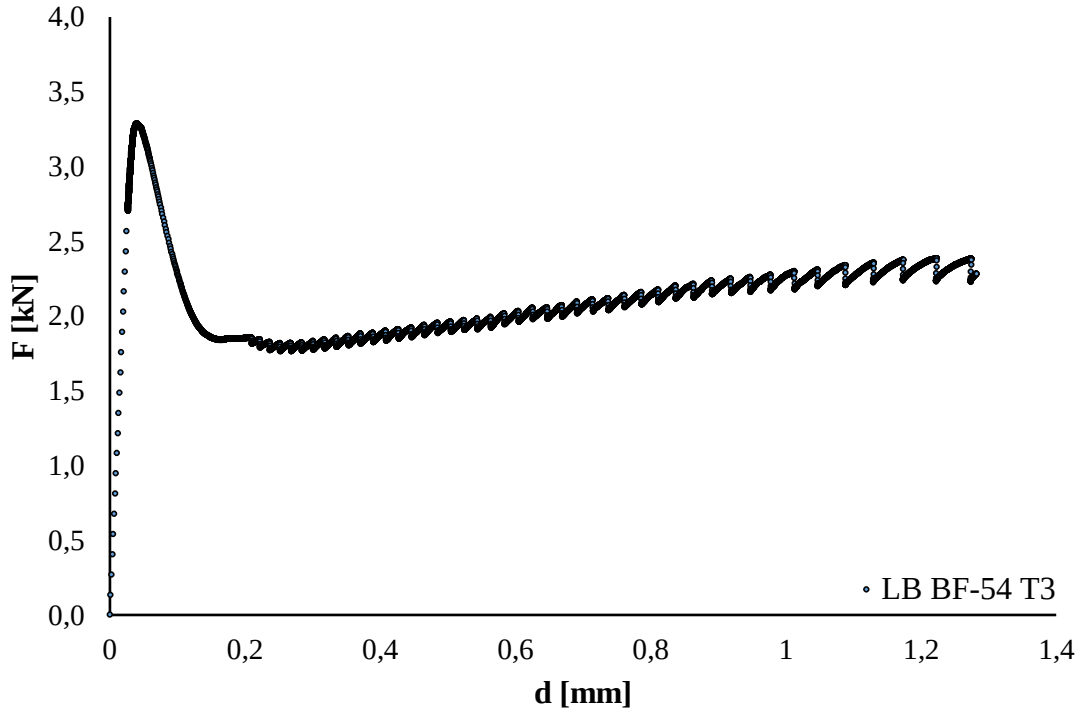

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
d [mm]
LB FF-38 T3

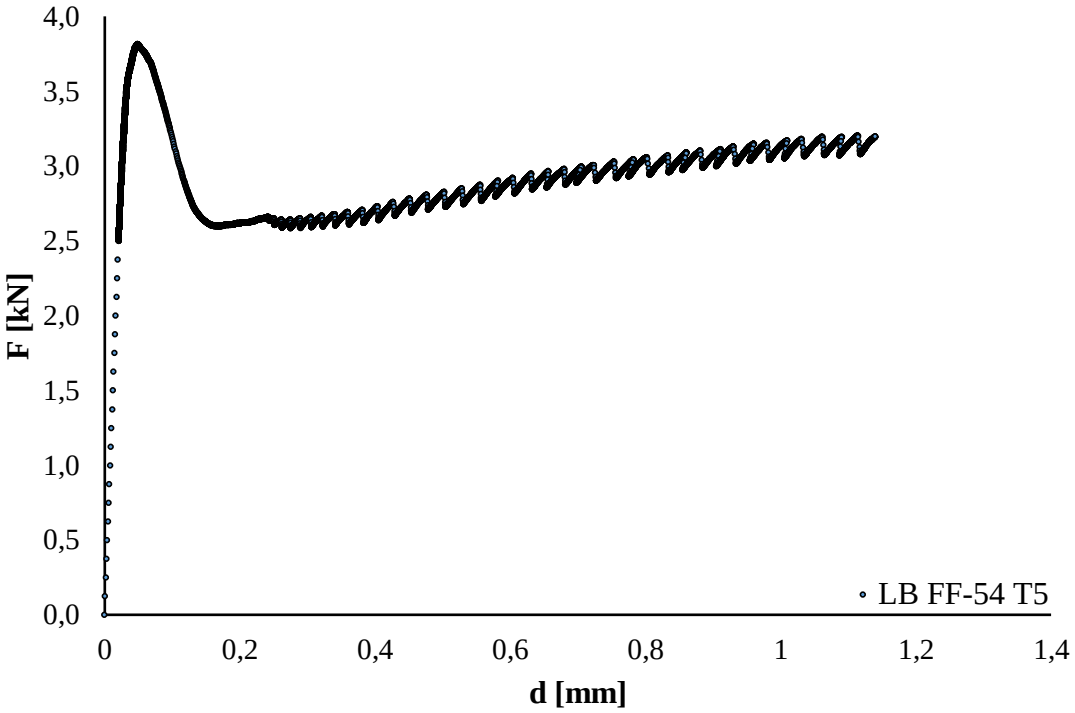


LB FF-38	y = ax + b	x_o	R^2
T1	y = 146.15x + 0.1087	-7.4376E-04	0.9953
T3	y = 122.29x + 0.0922	-7.5395E-04	0.9966
T8	y = 119.95x + 0.1084	-9.0371E-04	0.9953

LB FF-54

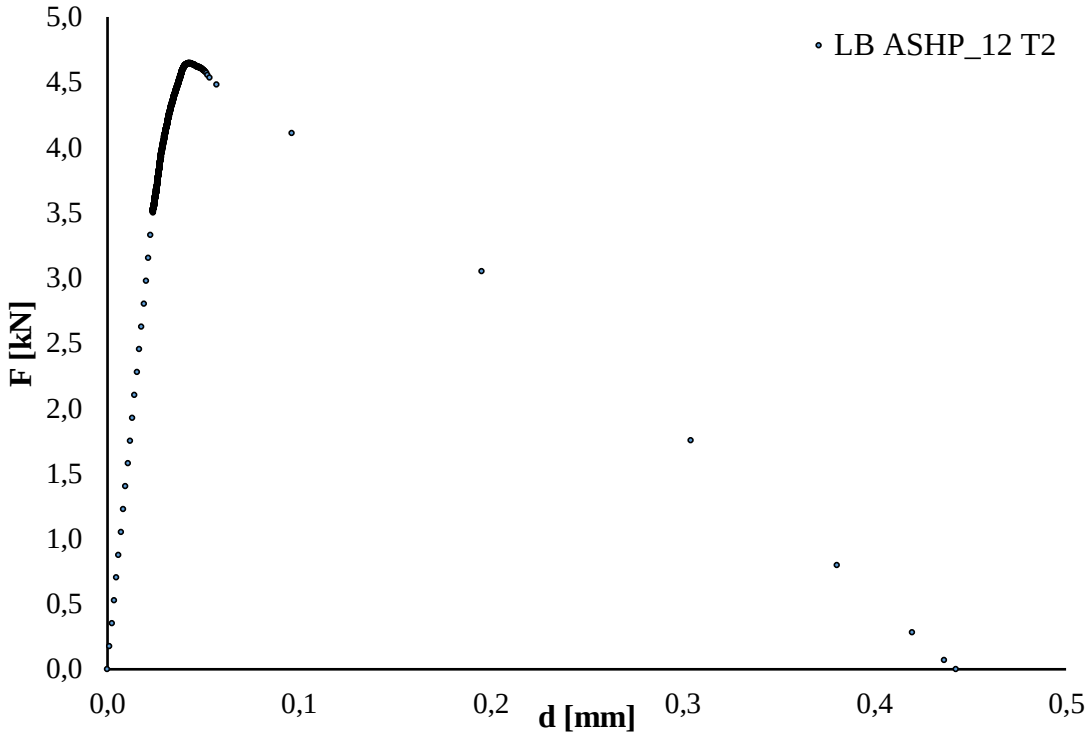

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
d [mm]
LB BF-54 T2

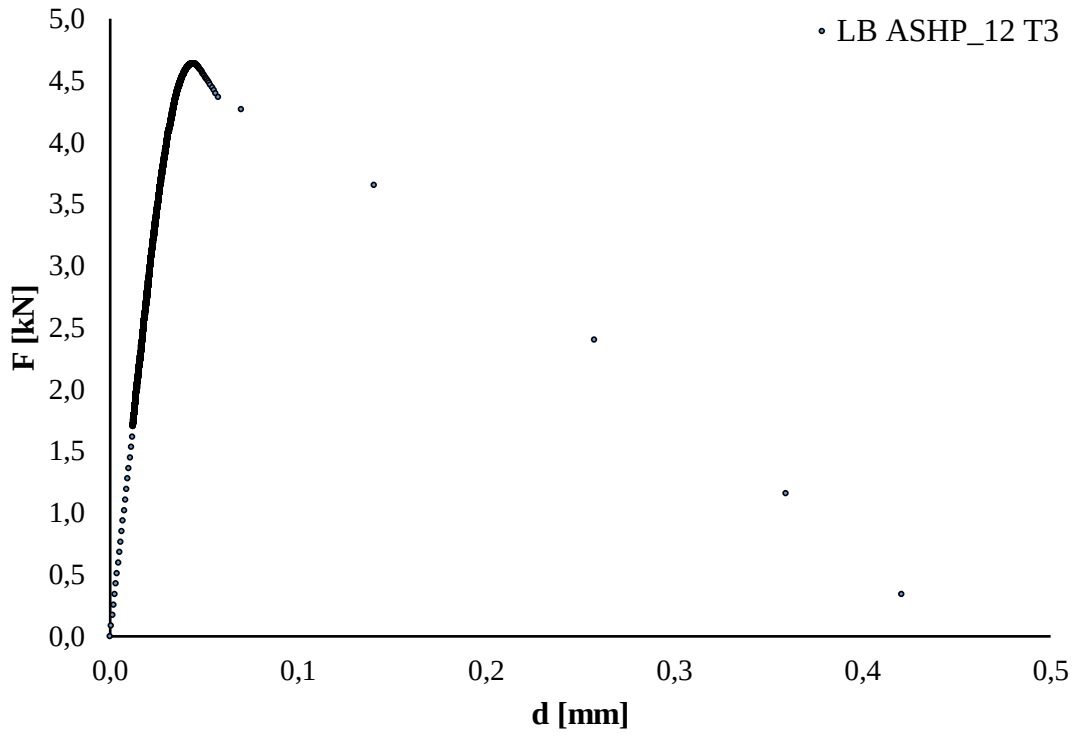

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
d [mm]
LB BF-54 T3

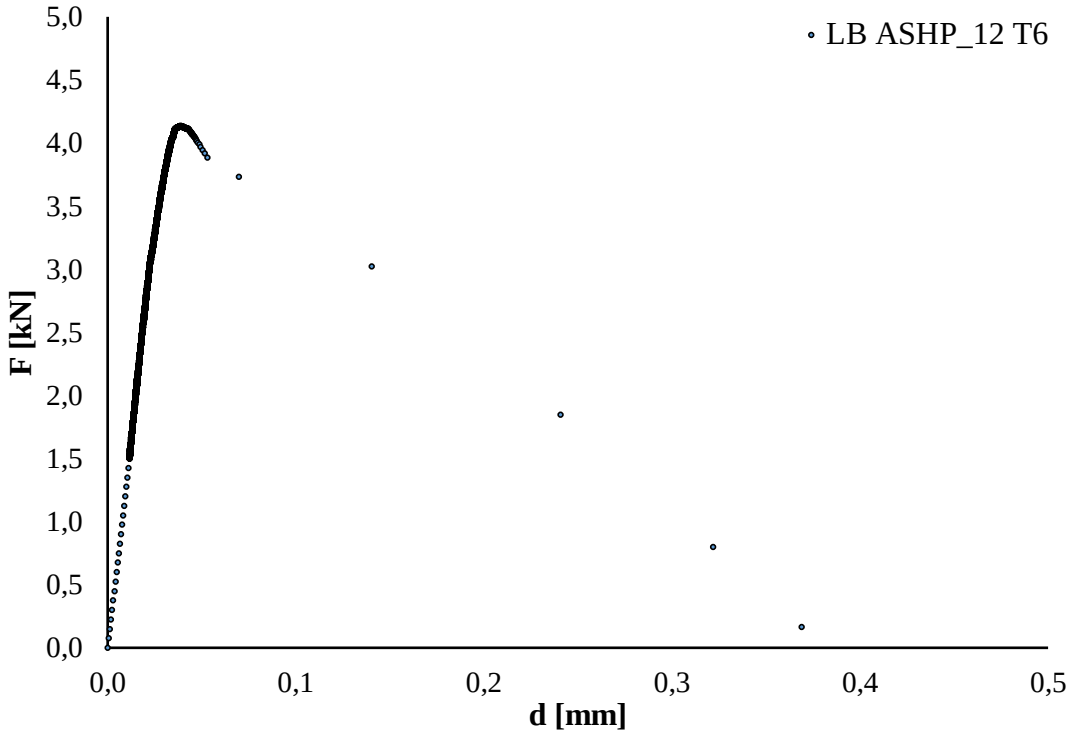


LB FF-54	y = ax + b	x_o	R^2
T2	y = 119.95x + 0.1084	-9.0371E-04	0.9953
T3	y = 107.72x + 0.0814	-7.5566E-04	0.9990
T5	y = 119.76x + 0.0402	-3.3567E-04	0.9998

LB ASHP_12

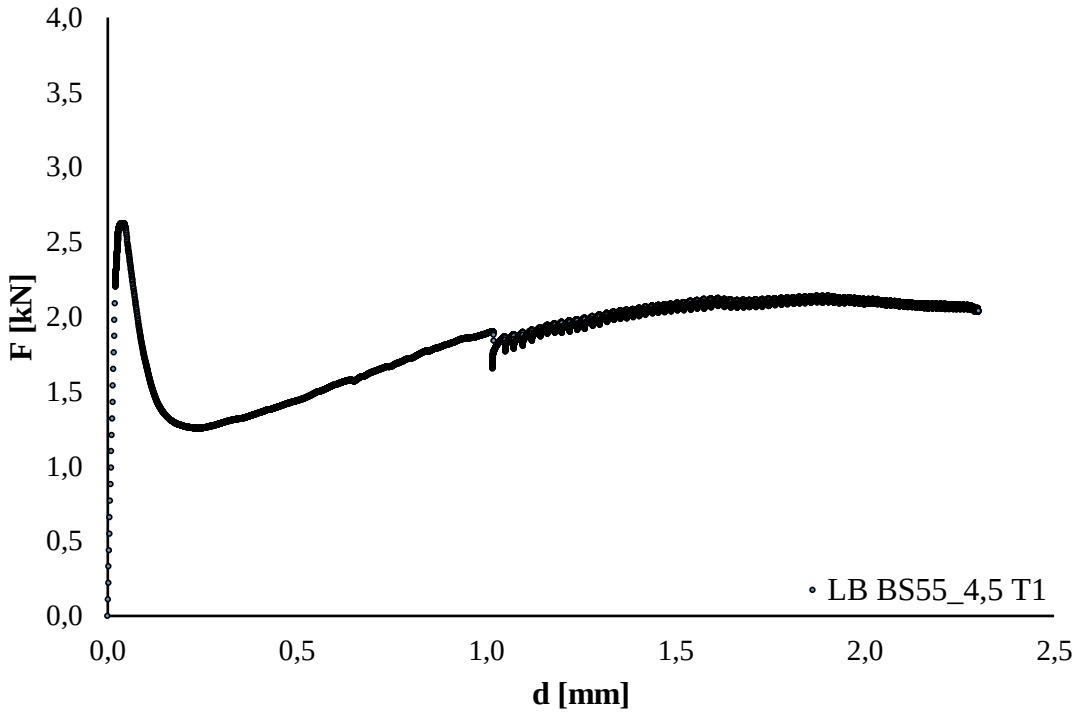

LB ASHP_12 T2
F [kN]
d [mm]
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5

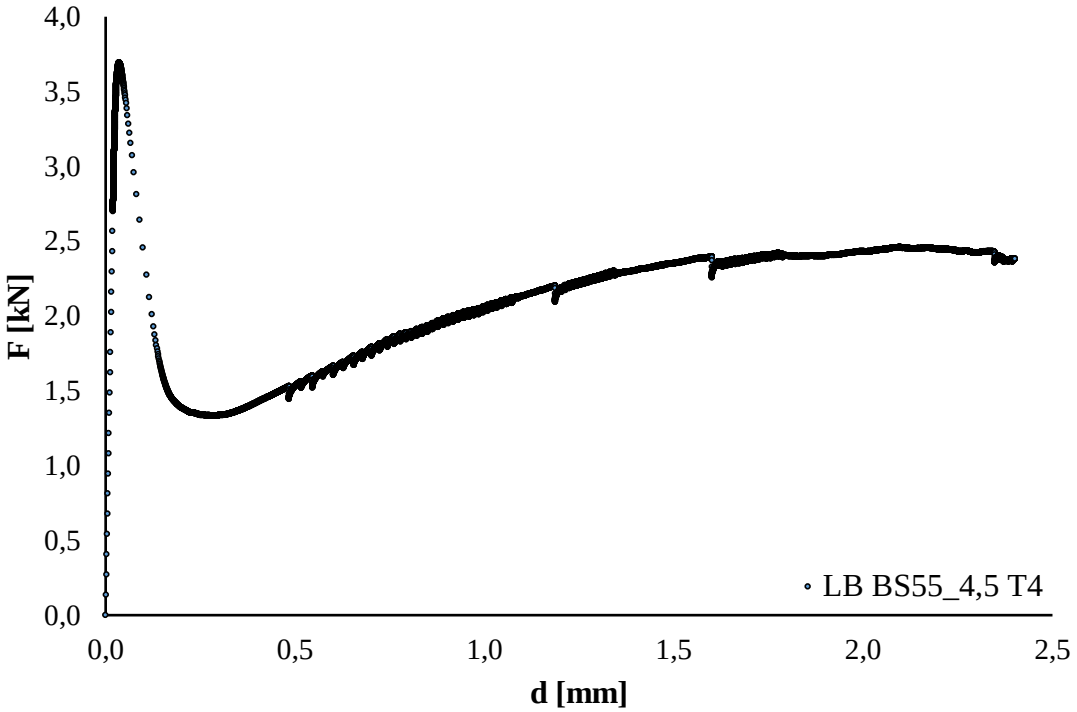

LB ASHP_12 T3
F [kN]
d [mm]
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5

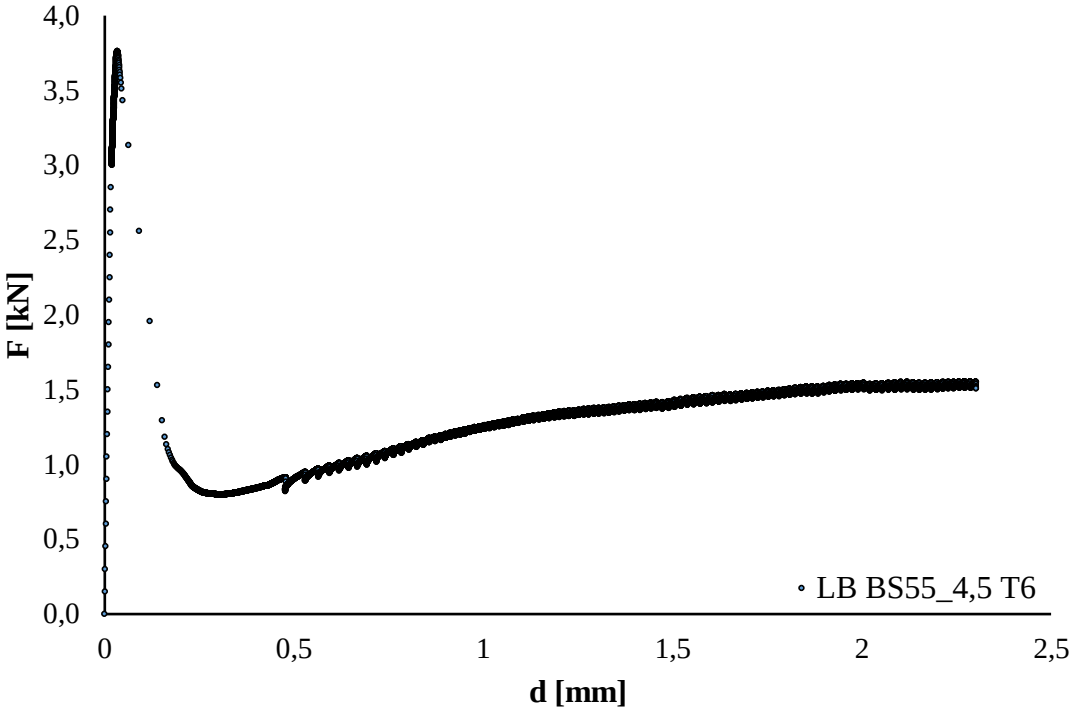


LB ASHP_12	y = ax + b	x_o	R^2
T2	y = 147.11x + 0.3485	-2.3690E-03	0.9999
T3	y = 135.47x + 0.0229	-1.6904E-04	0.9992
T6	y = 127.58x + 0.0122	-9.5626E-05	0.9992

LB BS55_4,5

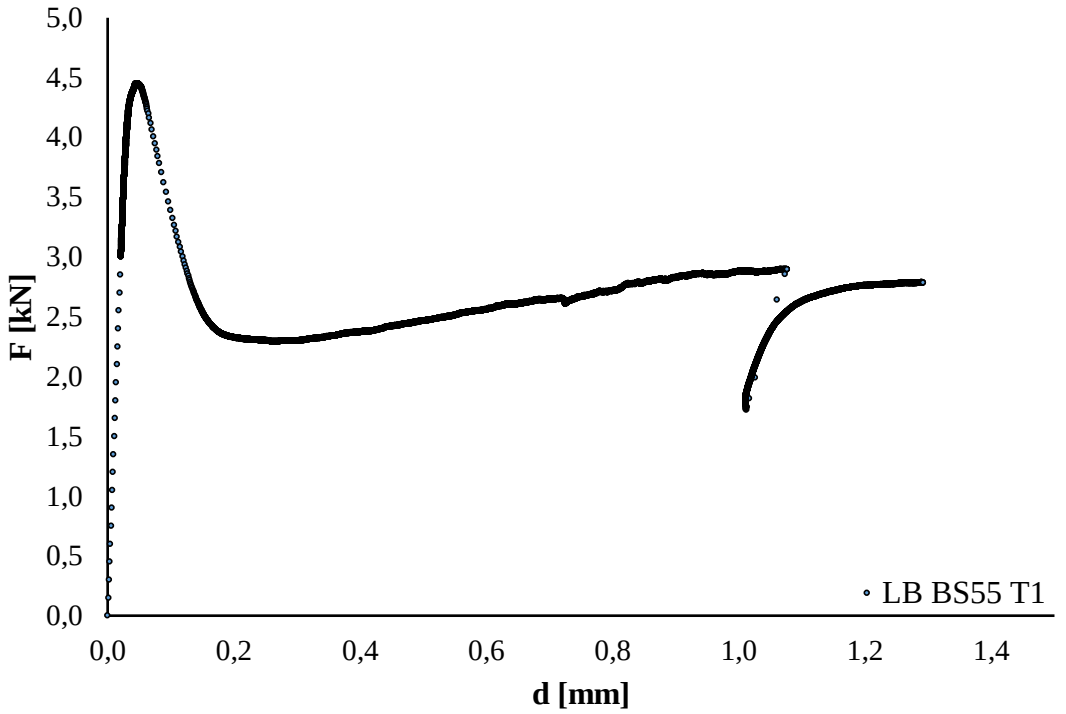

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
LB BS55_4,5 T1

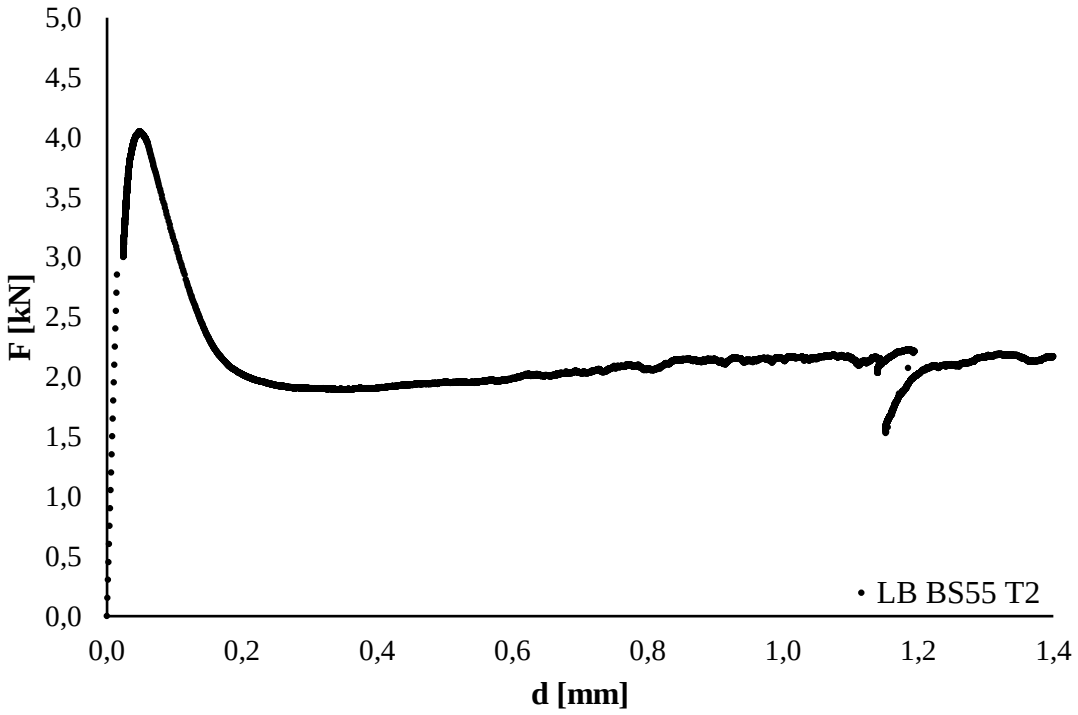

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
LB BS55_4,5 T4

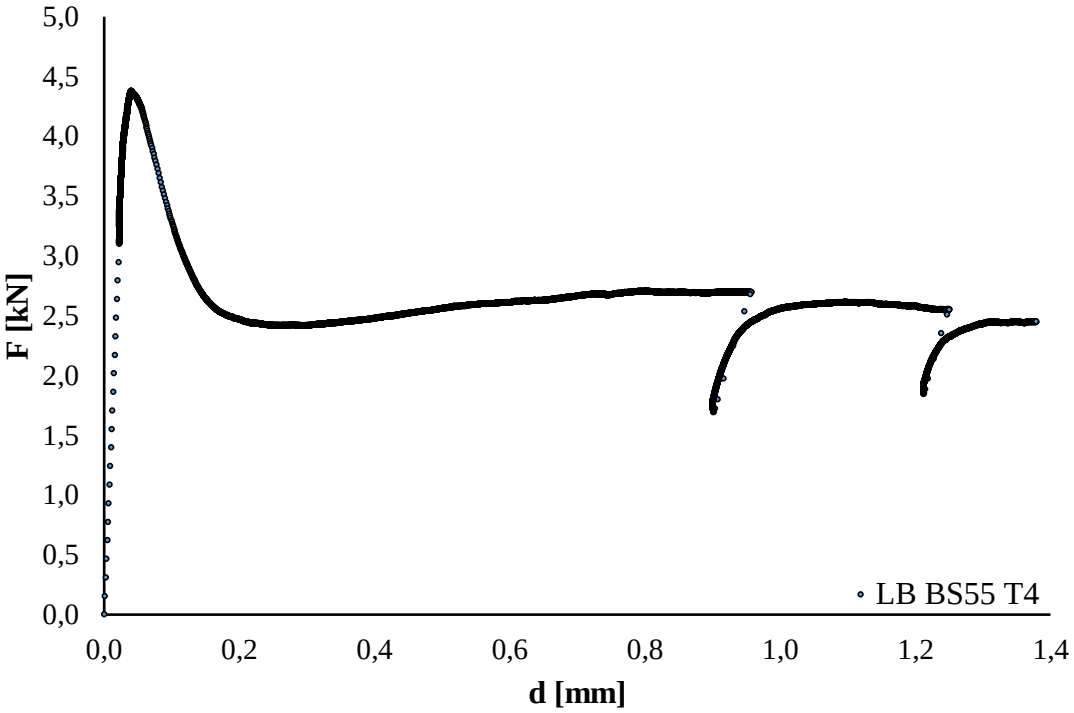


LB BS55_4,5	y = ax + b	x_o	R^2
T1	y = 106.32x + 0.04565	-4.2936E-04	0.9993
T4	y = 138.88x + 0.1086	-7.8197E-04	0.9995
T6	y = 167.27x + 0.0424	-2.5348E-04	0.9992

LB BS55


5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]
LB BS55 T1

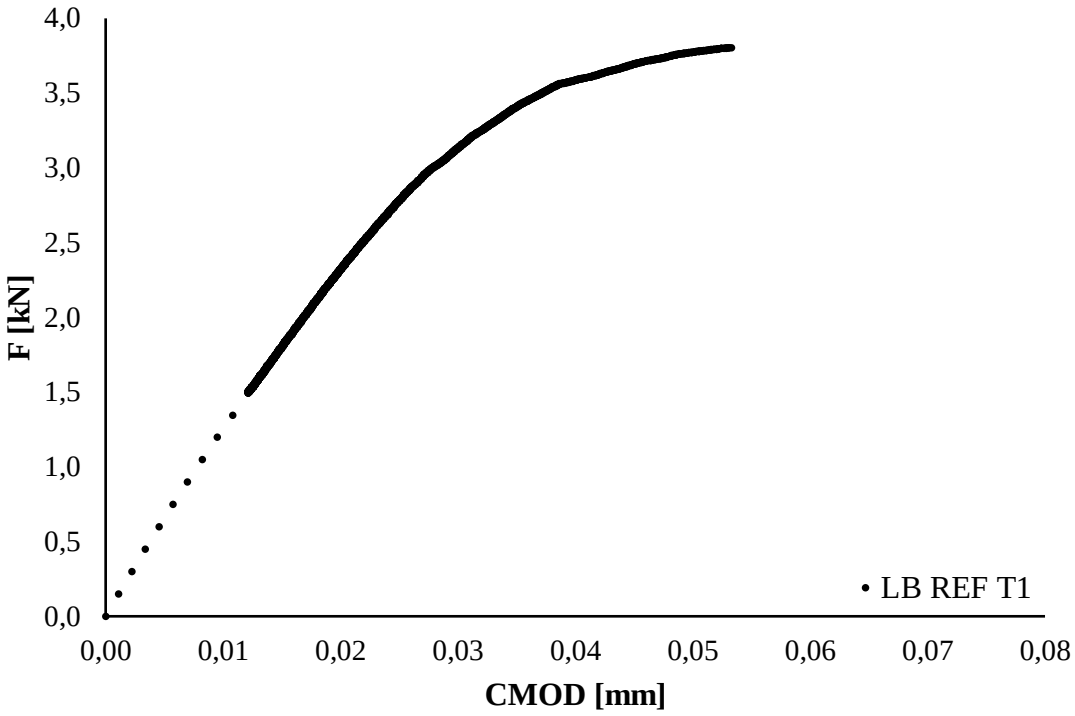

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]
LB BS55 T2

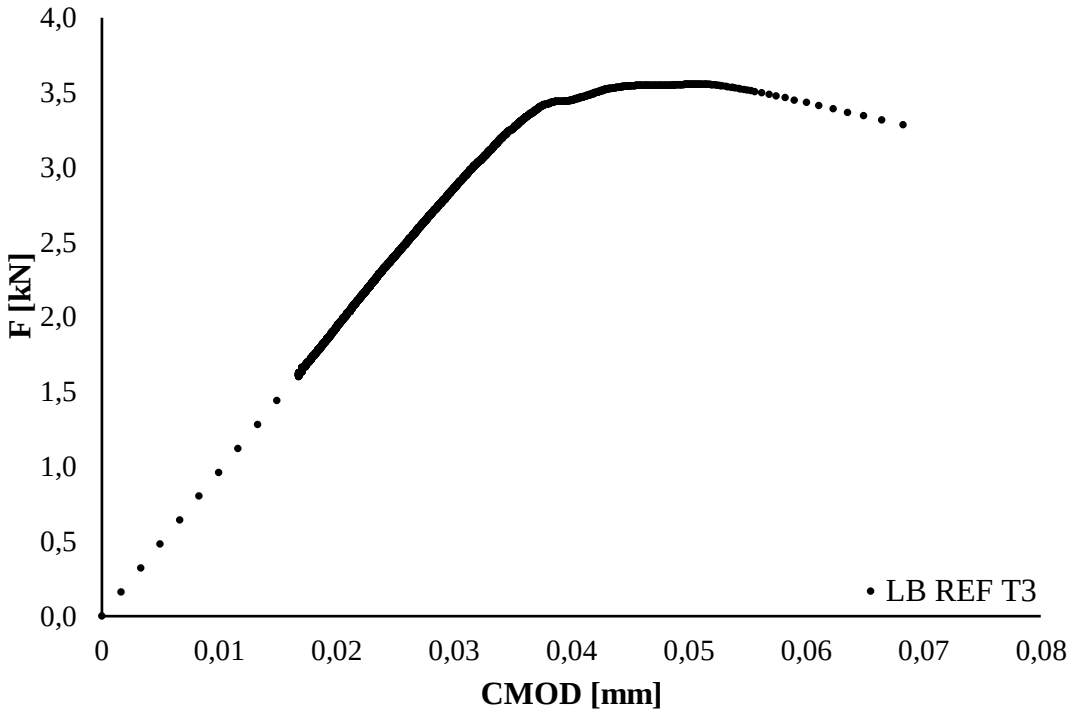


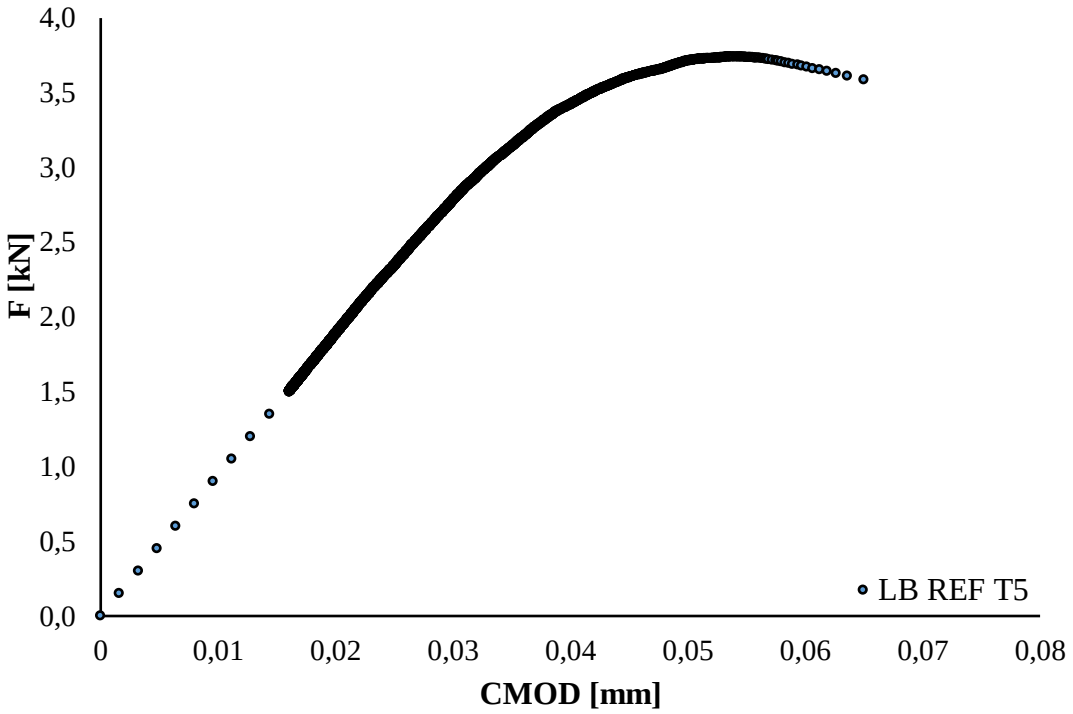
LB BS55	y = ax + b	x_0	R^2
T1	y = 142.57x + 0.0498	-3.4930E-04	0.9990
T2	y = 181.79x + 0.3413	-1.8774E-03	0.9969
T4	y = 140.43x + 0.1149	-8.1820E-04	0.9991

P2.2 Tělesa z lehkého betonu – $CMOD$

LB REF

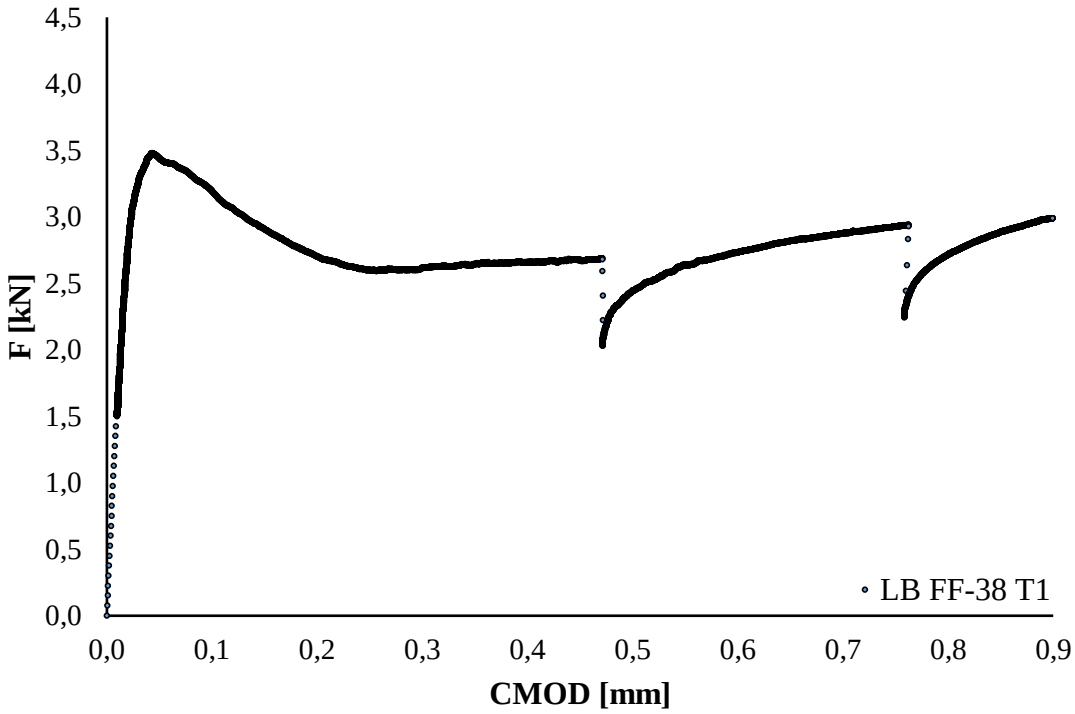


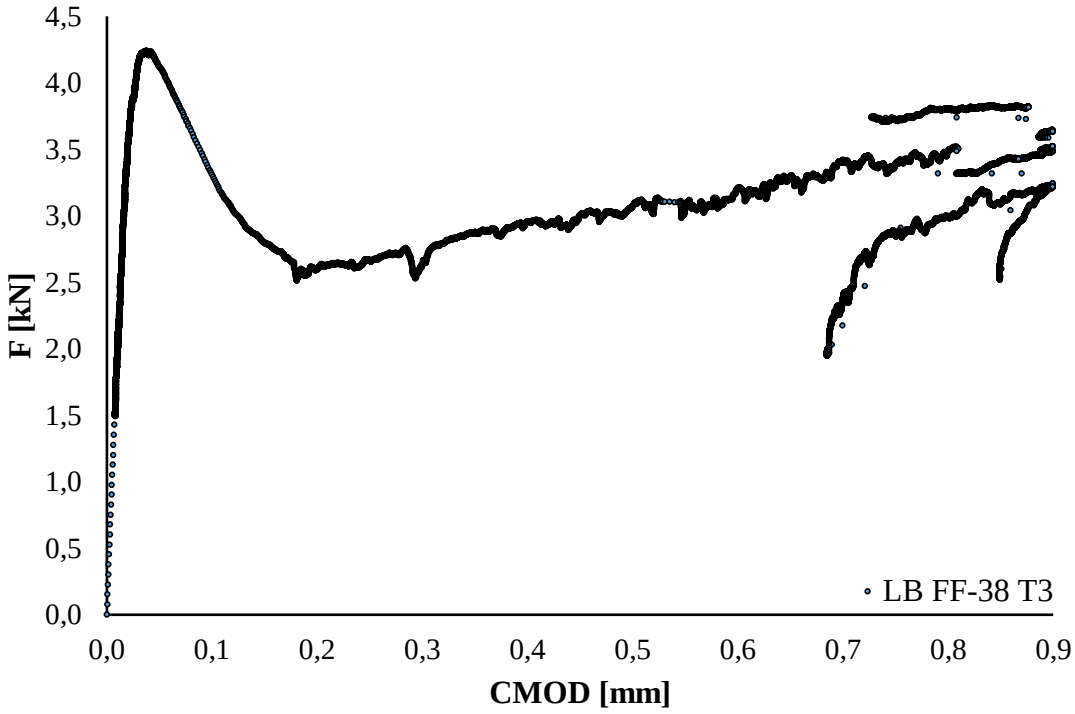




LB REF	y = ax + b	x_0	R^2
T1	y = 134.73x - 0.0799	5.9304E-04	0.9997
T3	y = 123.45x + 0.0873	-7.0717E-04	0.9995
T5	y = 122.97x + 0.0586	-4.7654E-04	0.9993

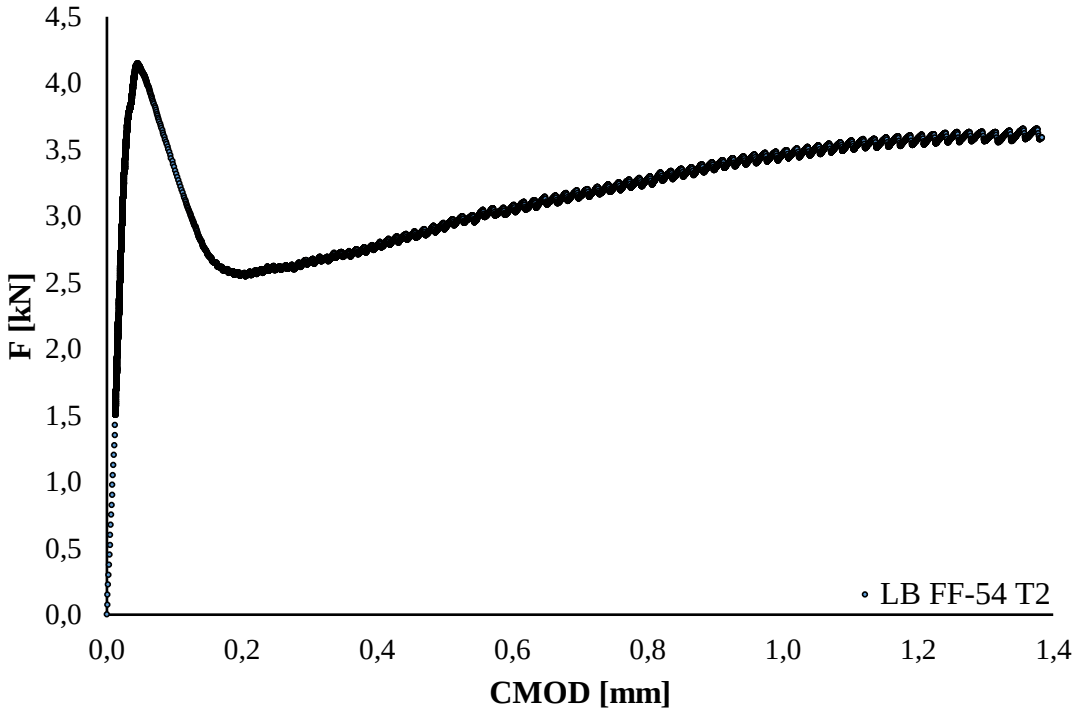
LB FF-38

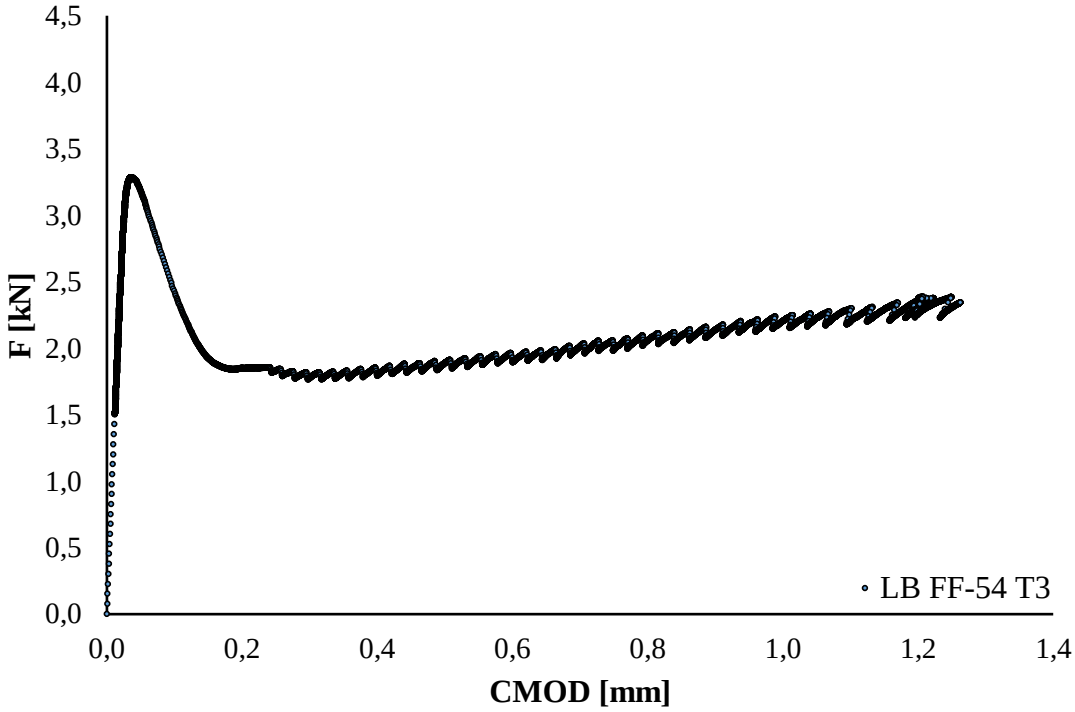


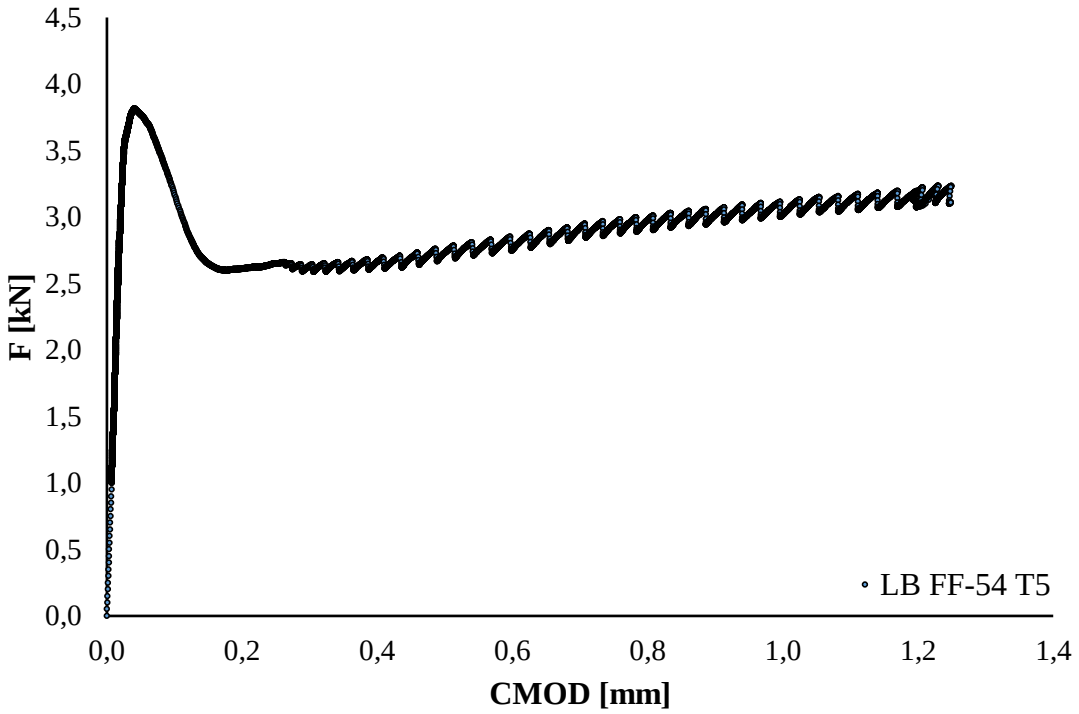


LB FF-38	y = ax + b	x_o	R^2
T1	y = 167.45x + 0.2424	-1.4476E-03	0.9600
T3	y = 199.31x + 0.0430	-2.1574E-04	0.9922
T8	-	-	-

LB FF-54

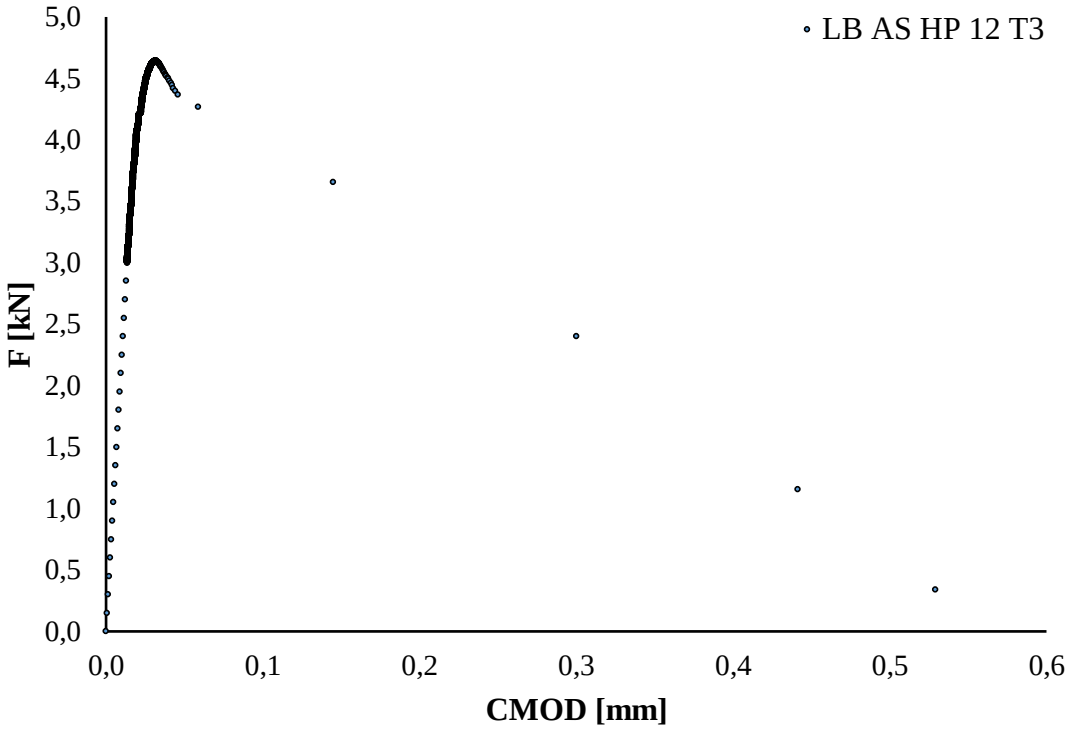

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB FF-54 T2

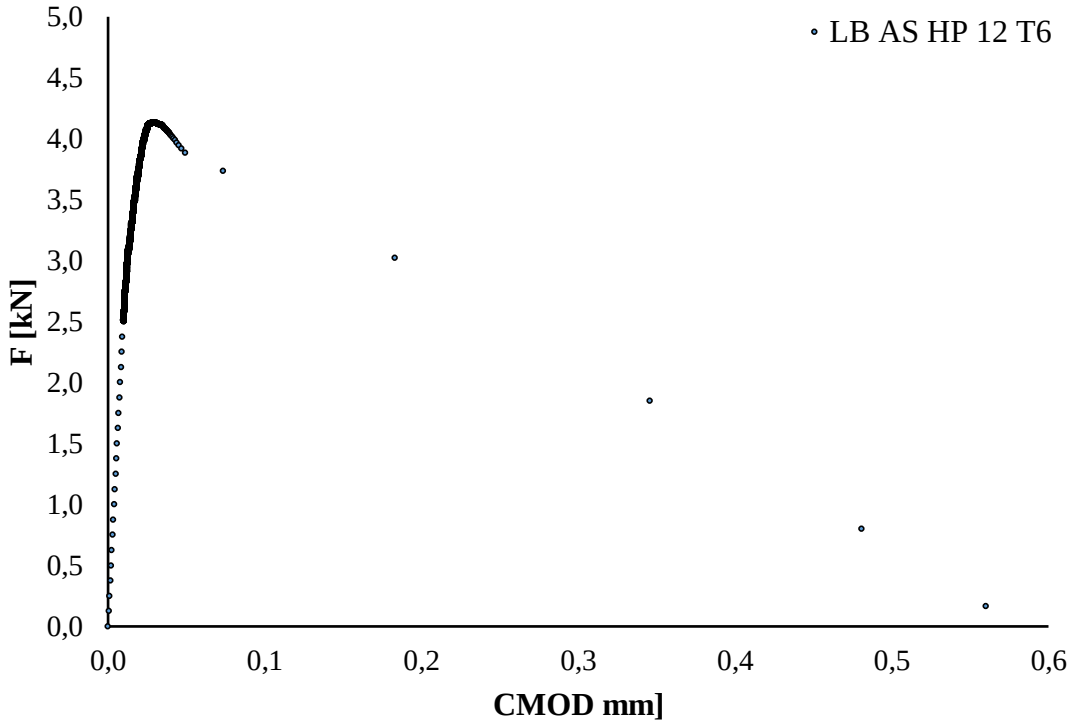

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB FF-54 T3



LB FF-54	y = ax + b	x_o	R^2
T2	y = 116.12x - 0.1721	1.4821E-03	0.9905
T3	y = 127.28x - 0.1047	8.2260E-04	0.9964
T5	y = 136.33x - 0.0413	3.0294E-04	0.9916

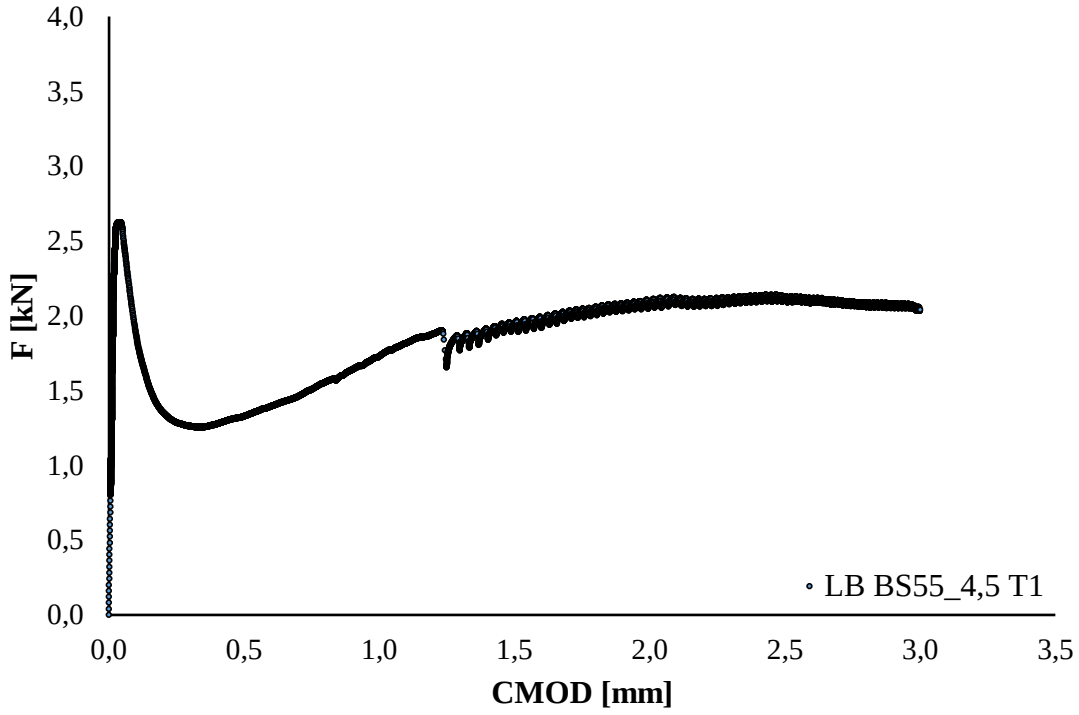
LB ASHP_12

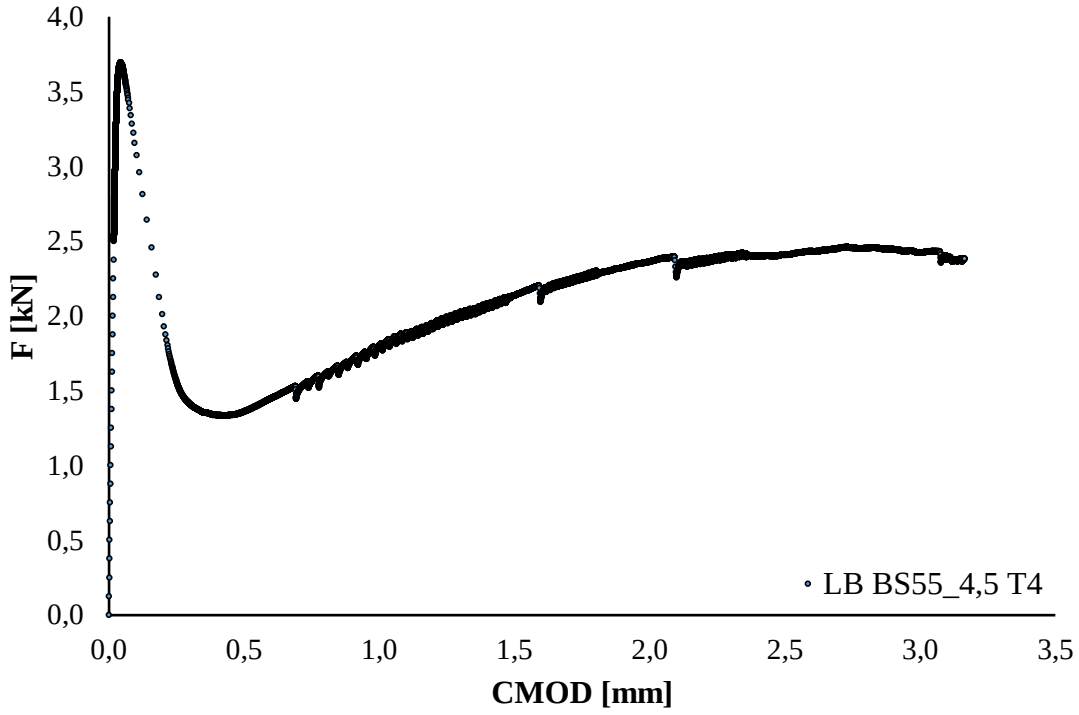

LB AS HP 12 T3
F [kN]
CMOD [mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6

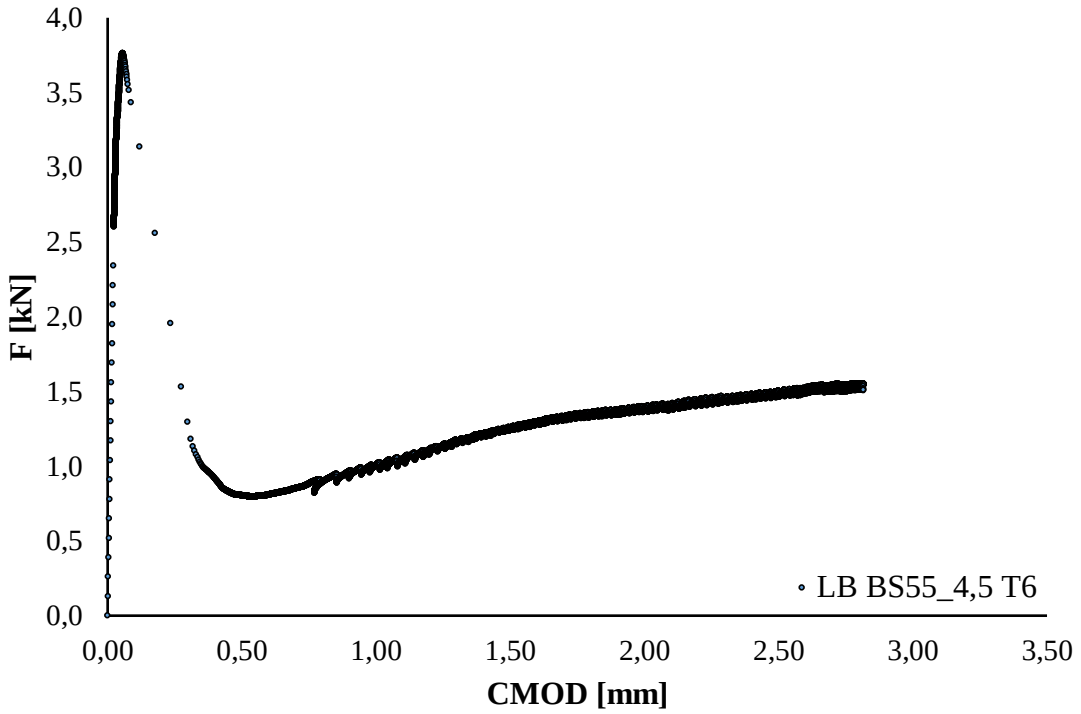

LB AS HP 12 T6
F [kN]
CMOD mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6

LB ASHP_12	y = ax + b	x_o	R^2
T2	-	-	-
T3	y = 222.54x - 0.1964	8.8254E-04	0.9952
T6	y = 257.83x + 0.0338	-1.3109E-04	0.9941

LB BS55_4,5

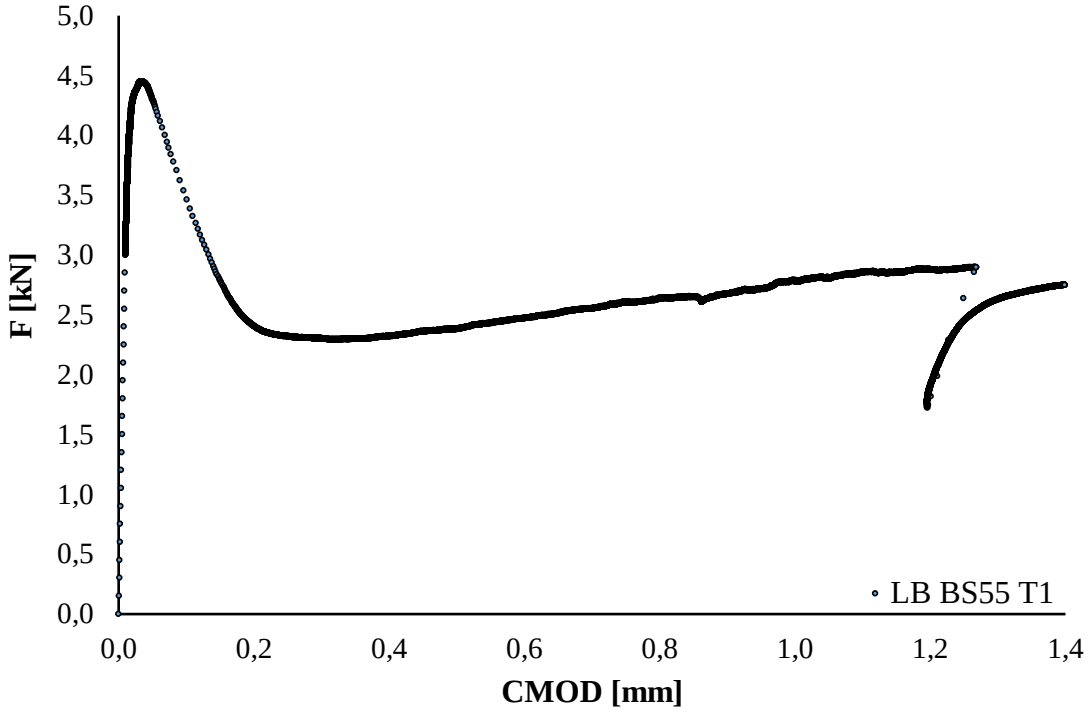

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T1

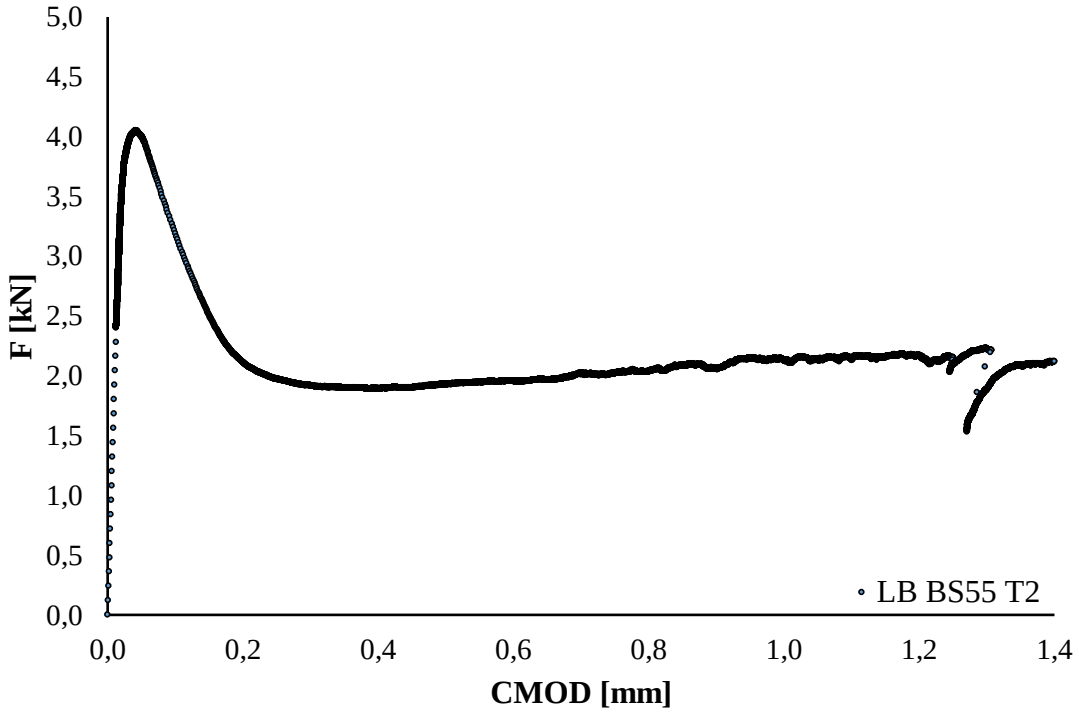

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T4

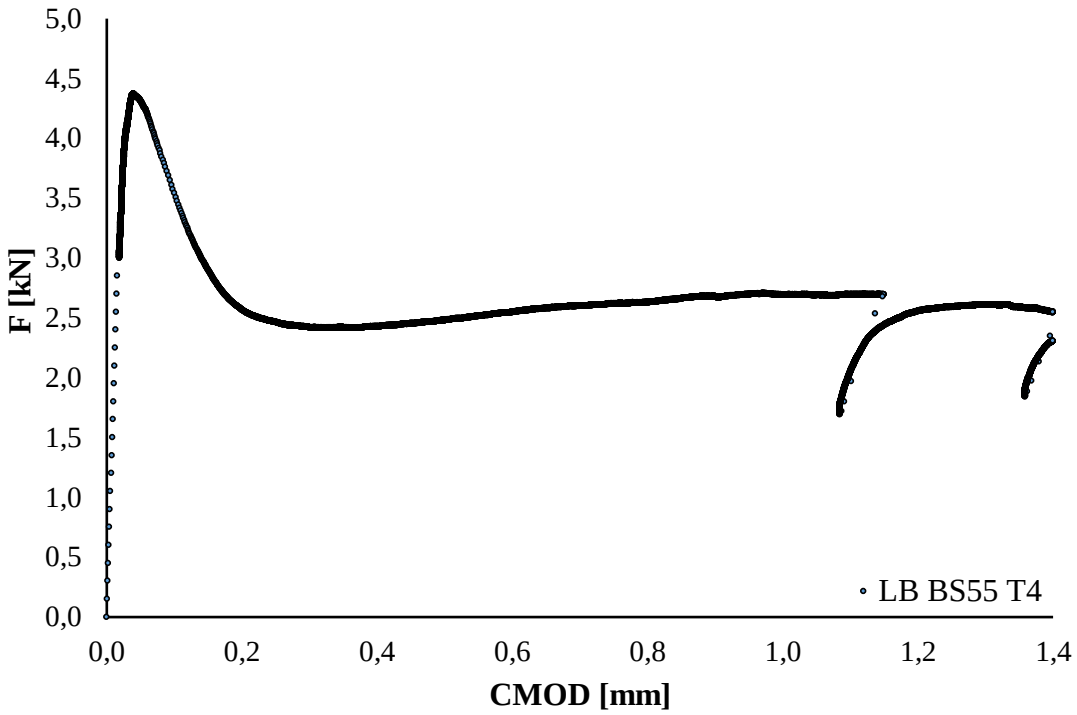


LB BS55_4,5	y = ax + b	x_o	R^2
T1	y = 115.72x - 0.0936	8.0885E-04	0.9896
T4	y = 129.44x - 1.4335	1.1075E-02	0.9970
T6	y = 111.14x - 0.8519	7.6651E-03	0.9972

LB BS55


5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T1

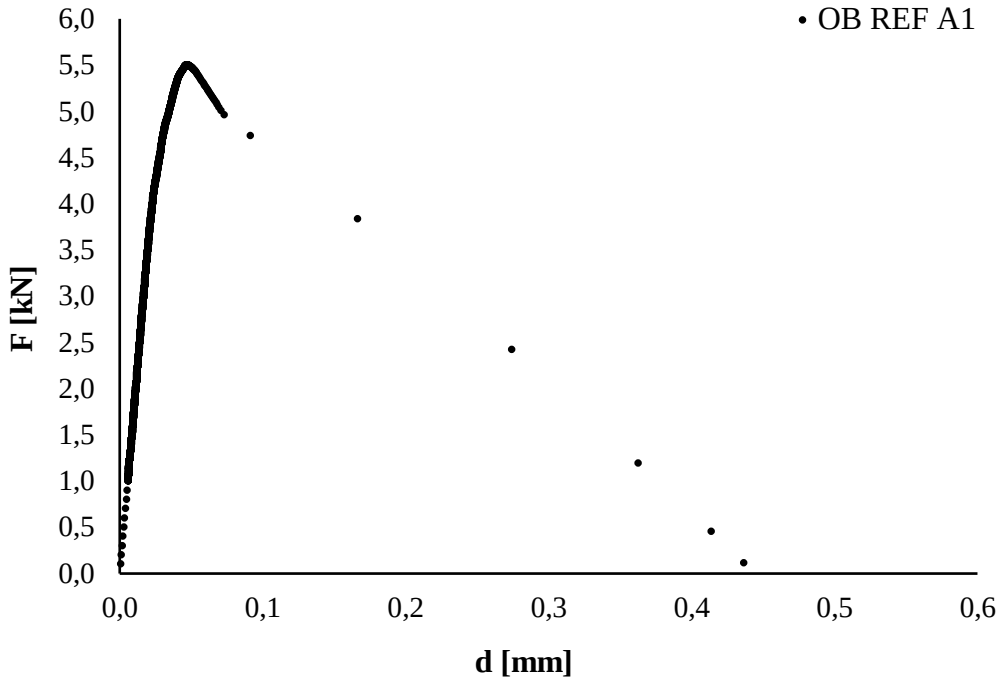

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T2

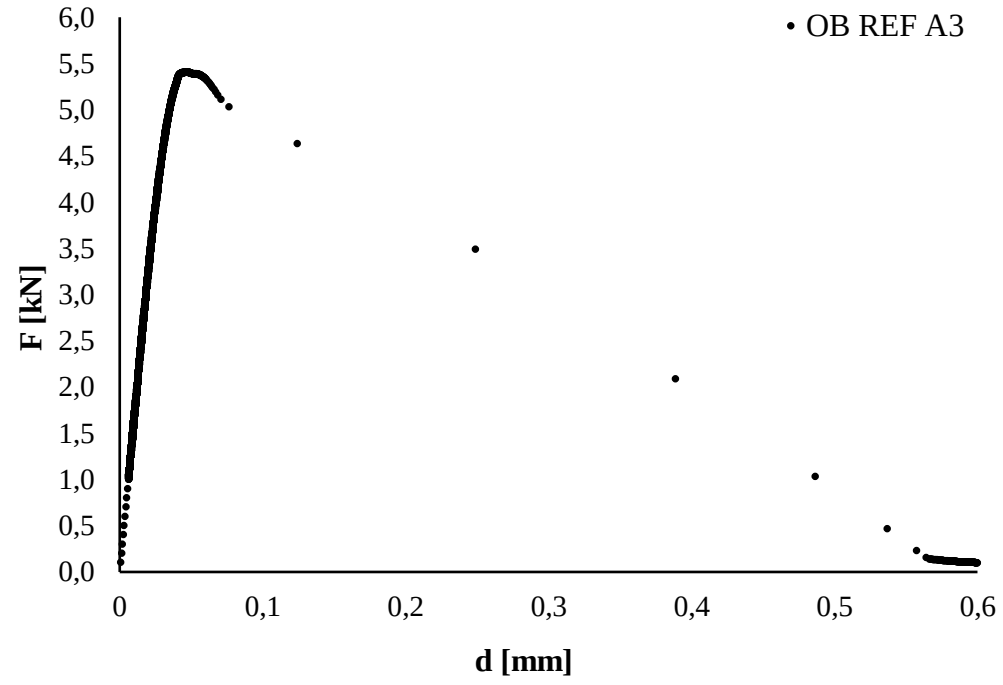


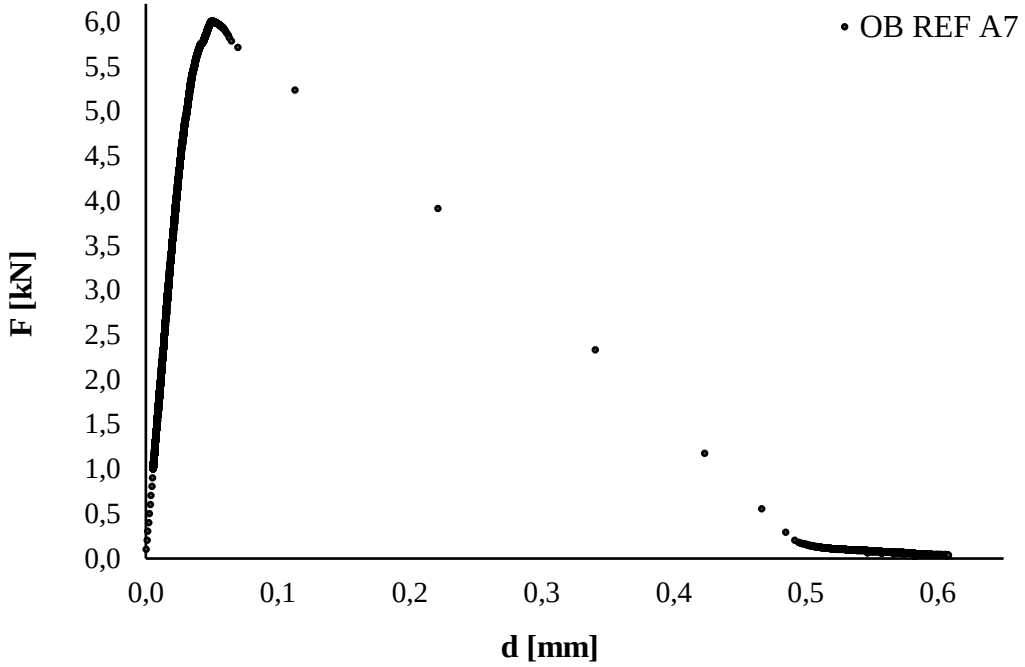
LB BS55	y = ax + b	x_0	R^2
T1	y = 305.54x - 0.0520	1.7019E-04	0.9916
T2	y = 188.91x + 0.3018	-1.5976E-03	0.9961
T4	y = 179.27x + 0.1838	-1.0253E-03	0.9983

P2.3 Tělesa z obyčejného betonu – *d*

OB REF

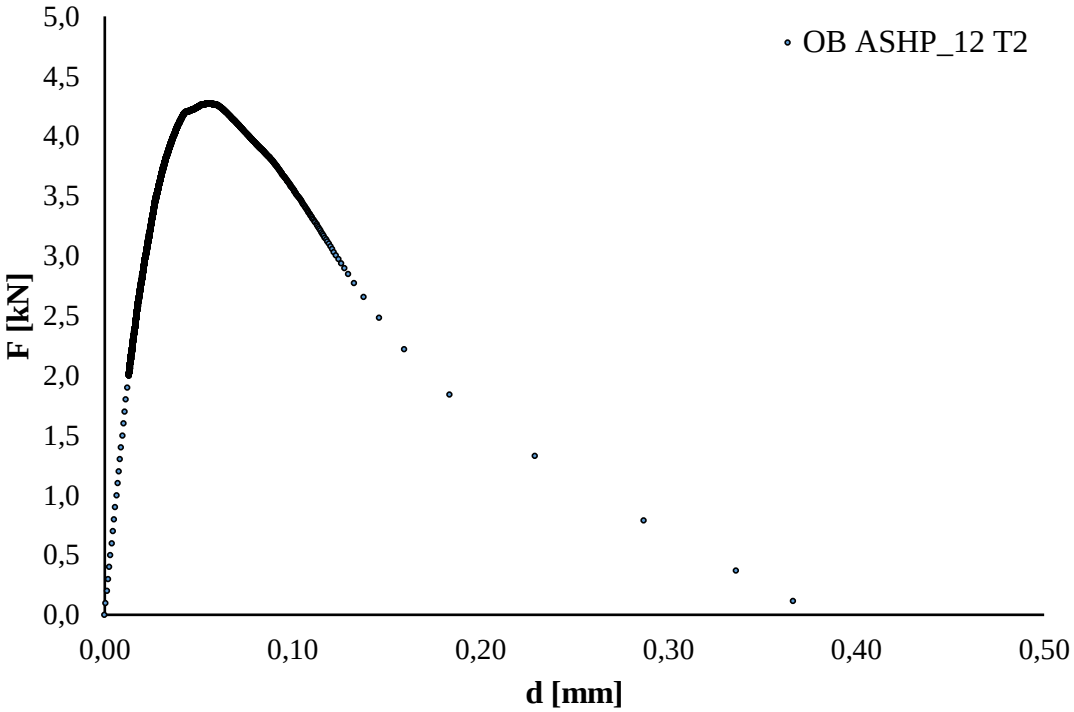


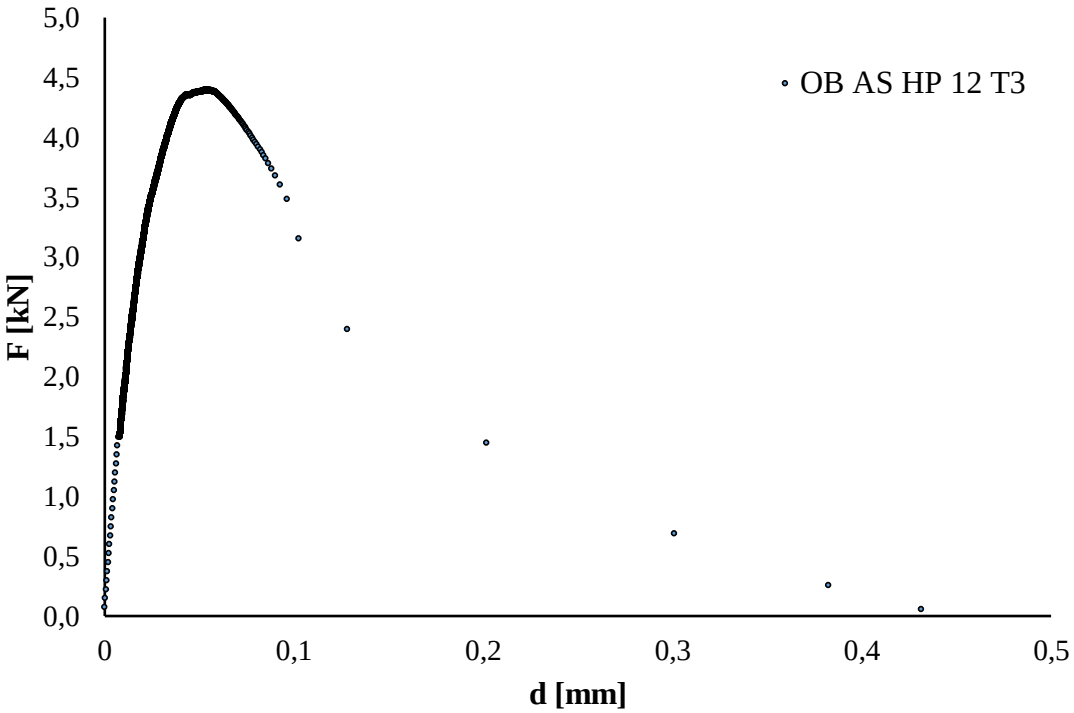


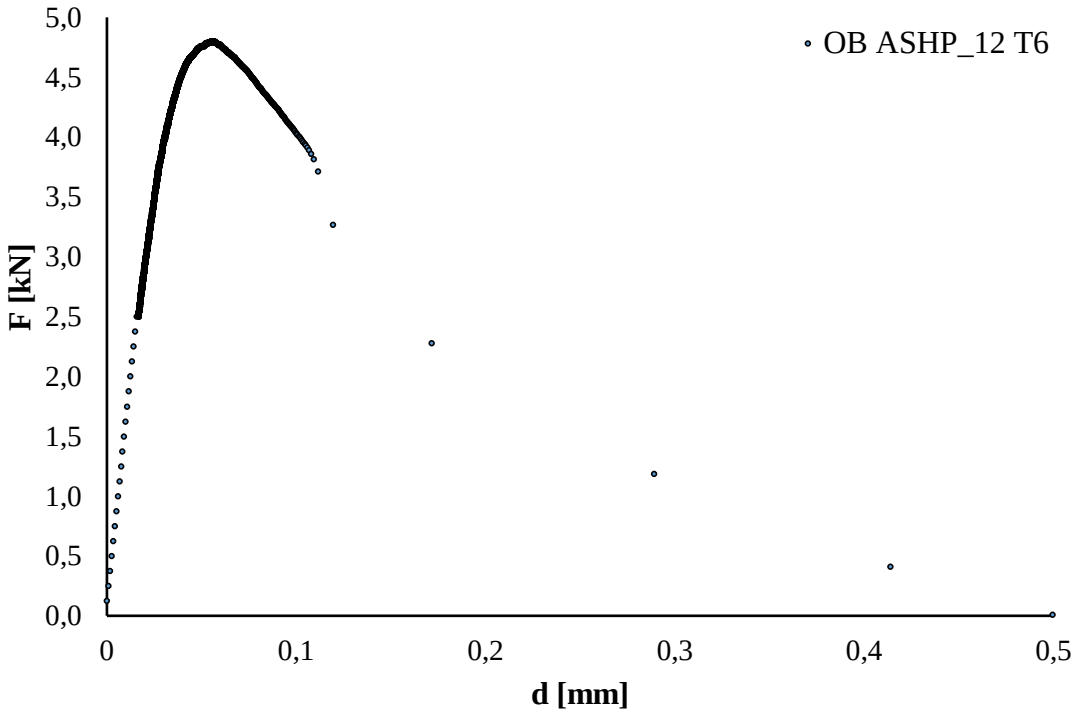


OB REF	y = ax + b	x_o	R^2
A1	y = 178.02x + 0.1680	-9.4371E-04	0.9968
A3	y = 165.35x + 0.2380	-1.4394E-03	0.9993
A7	y = 174.38x - 0.0696	3.9913E-04	0.9990

OB ASHP_12

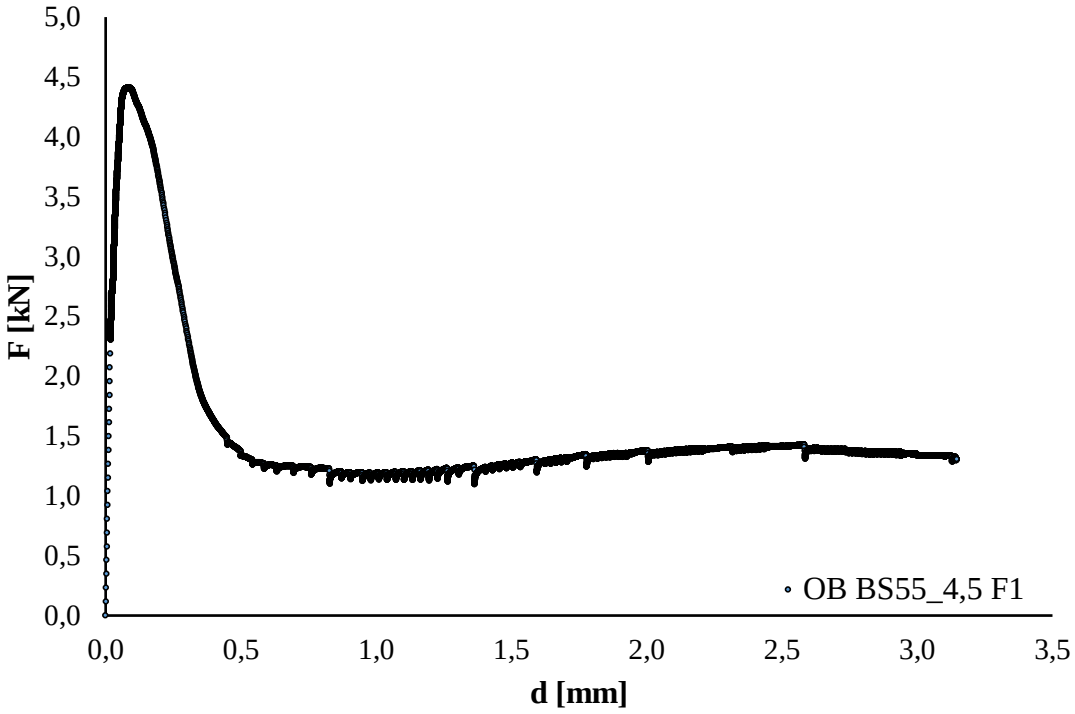

OB ASHP_12 T2
F [kN]
d [mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50

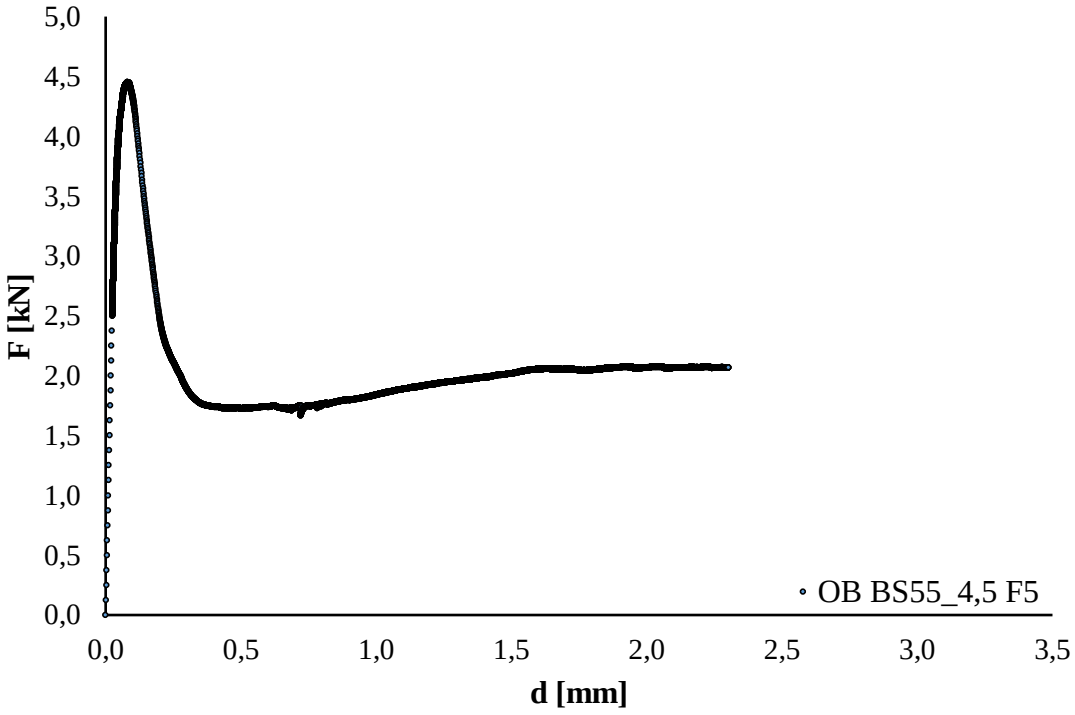

OB AS HP 12 T3
F [kN]
d [mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5

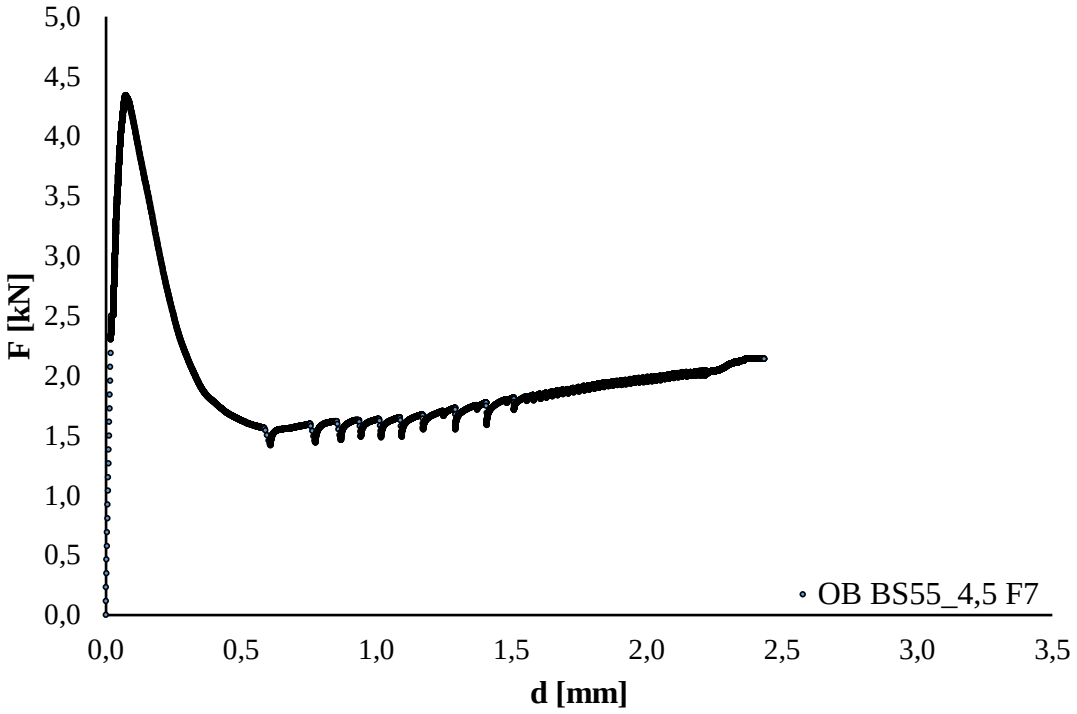


OB ASHP_12	y = ax + b	x_o	R^2
T2	y = 156.72x + 0.0802	-5.1174E-04	0.9985
T3	y = 197.81x + 0.0457	-2.3103E-04	0.9950
T6	y = 149.33x + 0.0459	-3.0737E-04	0.9997

OB BS55_4,5

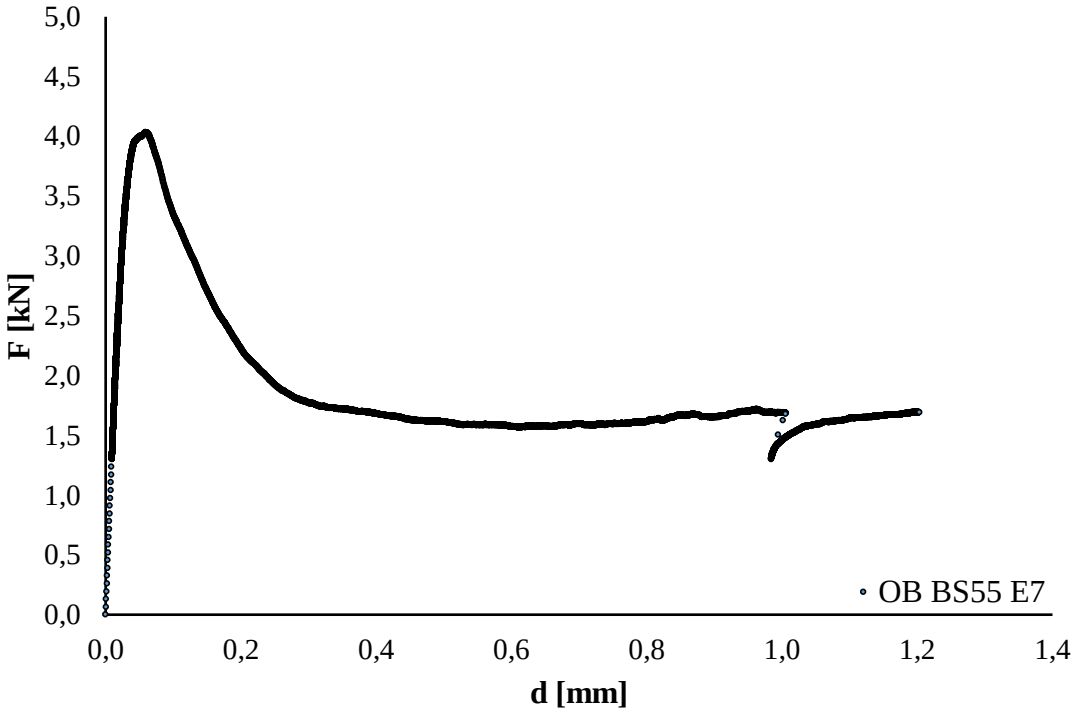

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F1

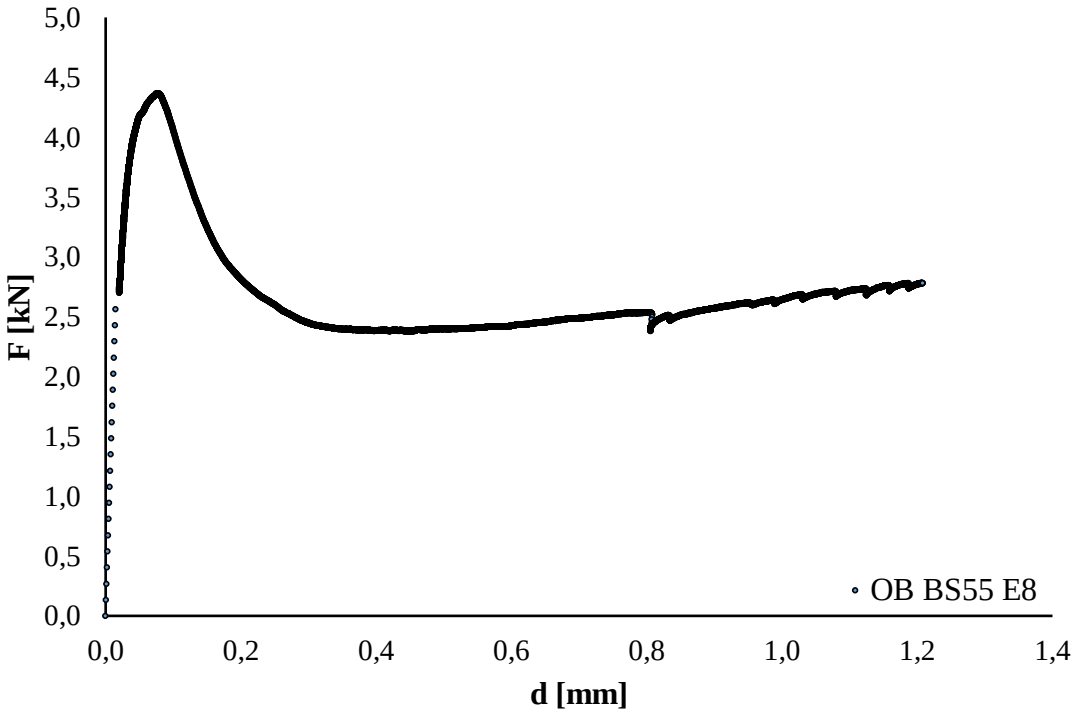

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F5

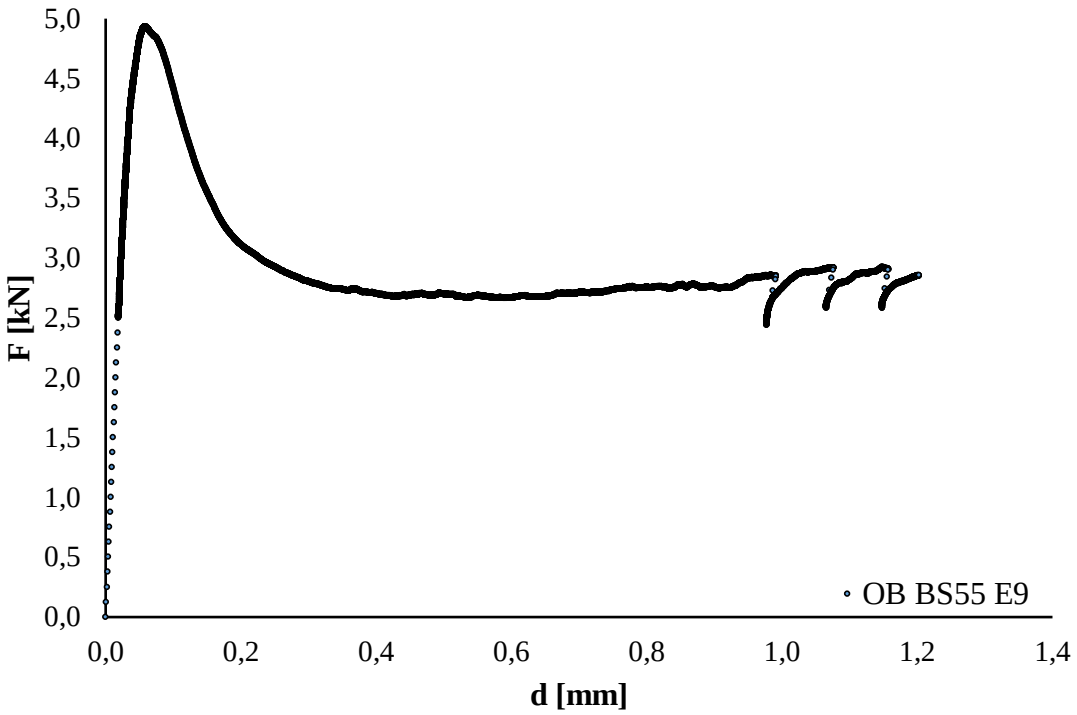


OB BS55_4,5	y = ax + b	x_o	R^2
F1	y = 128.87x + 0.0617	-4.7878E-04	0.9969
F5	y = 102.88x + 0.0962	-9.3507E-04	0.9994
F7	y = 121.29x - 0.0023	1.8963E-05	0.9995

OB BS55


5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
OB BS55 E7
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]

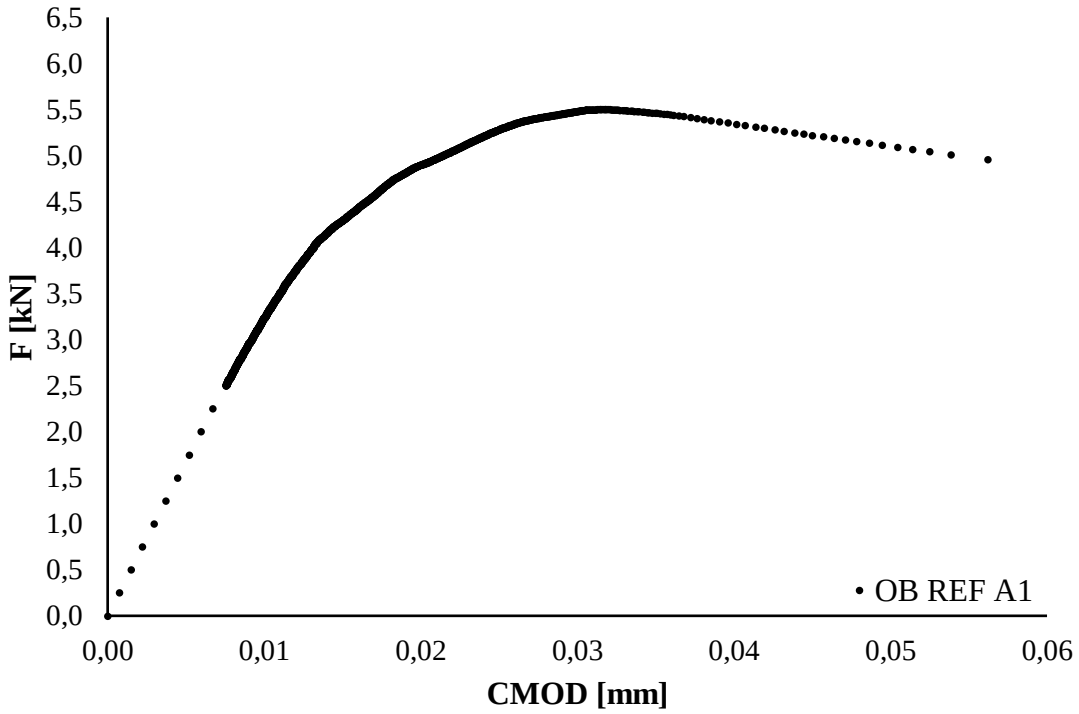

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
OB BS55 E8
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
d [mm]

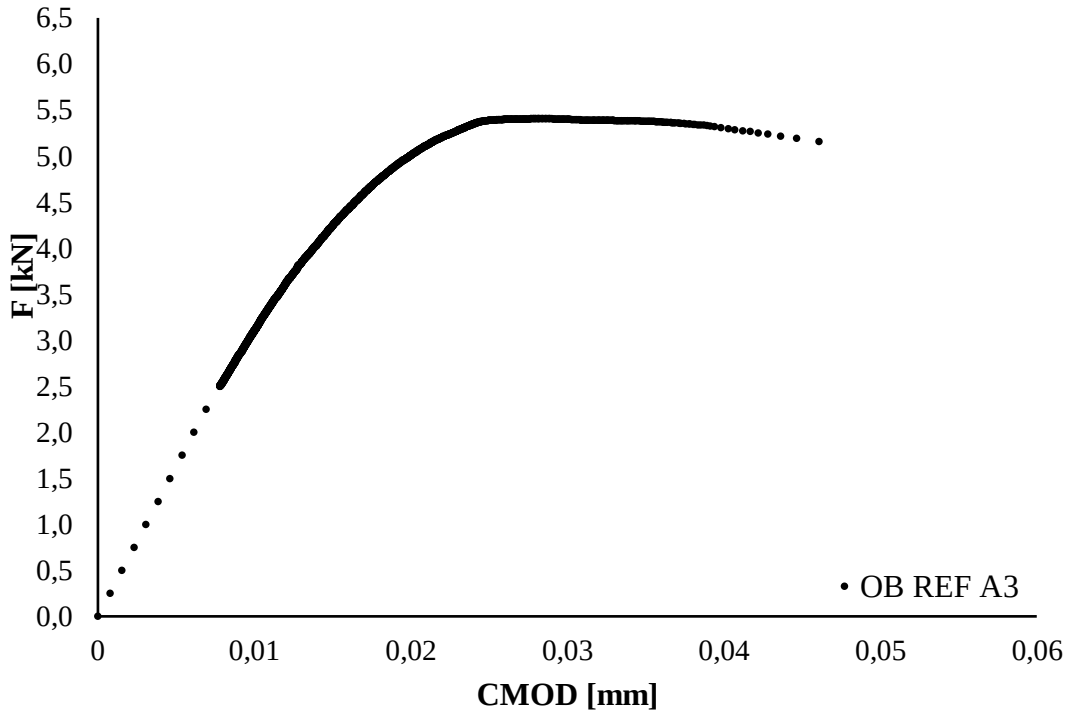


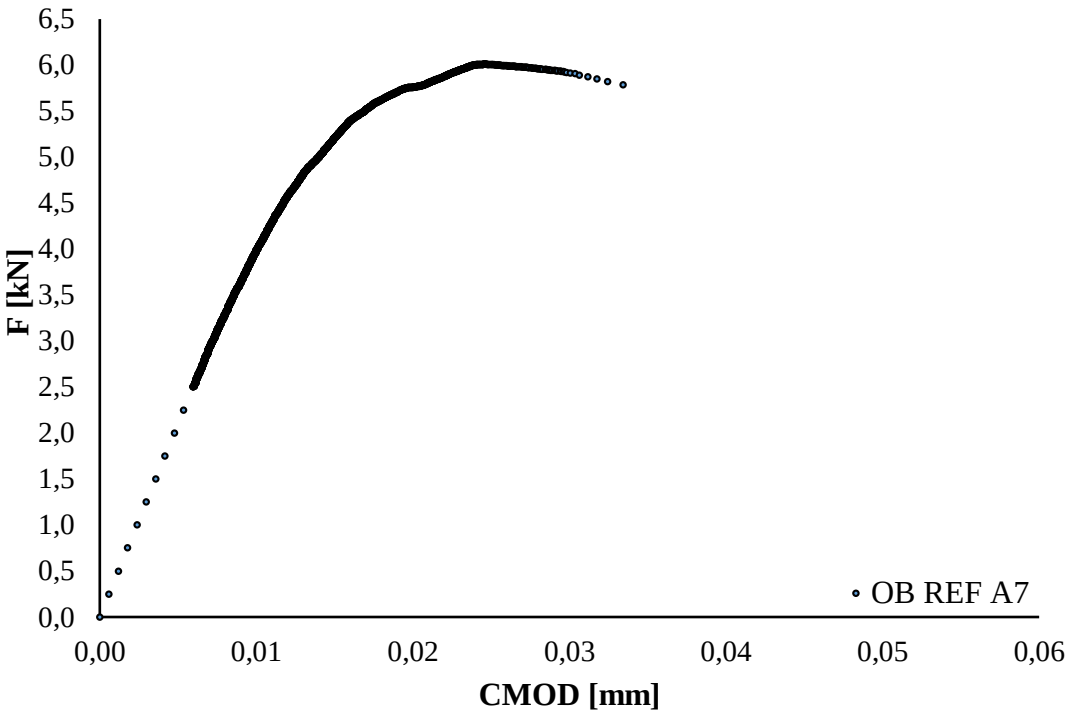
OB BS55	y = ax + b	x_o	R^2
E7	y = 142.49x + 0.0001	-7.0180E-07	0.9996
E8	y = 169.58x - 0.1067	6.2920E-04	0.9978
E9	y = 134.29x + 0.0849	-6.3221E-04	0.9991

P2.4 Tělesa z obyčejného betonu – $CMOD$

OB REF

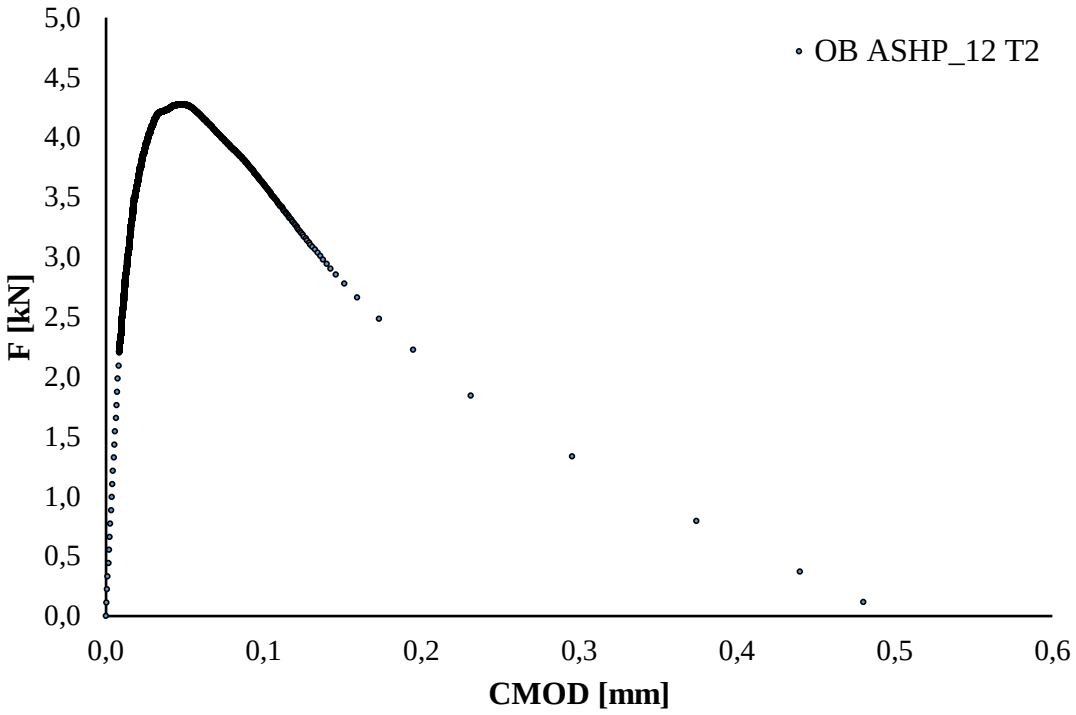


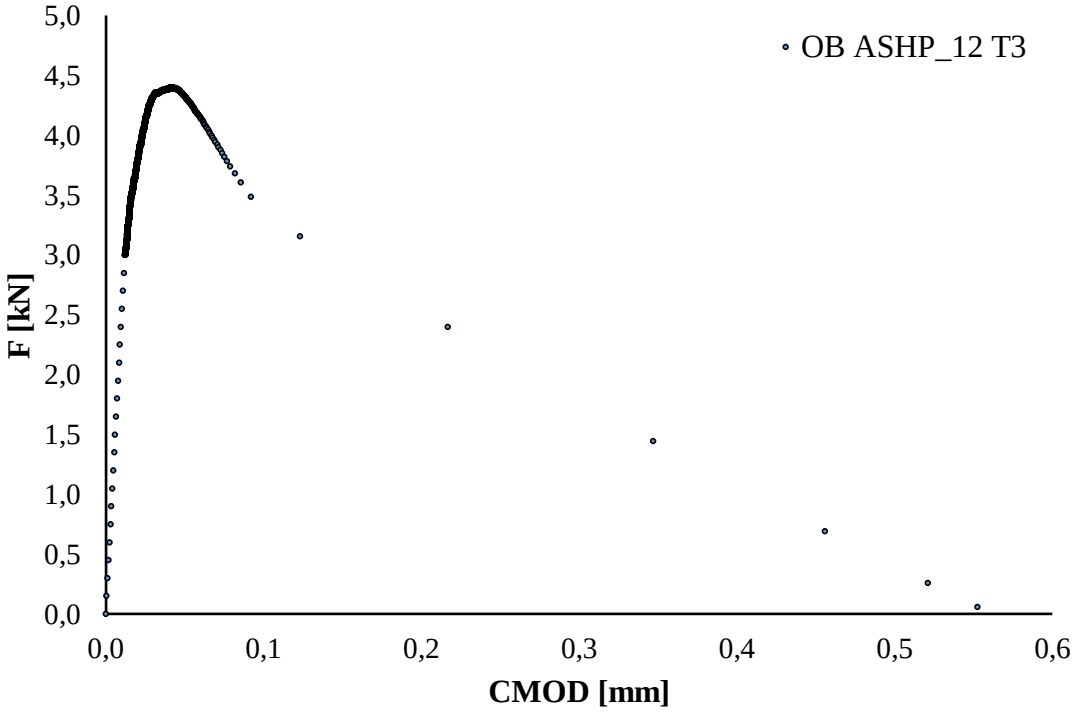


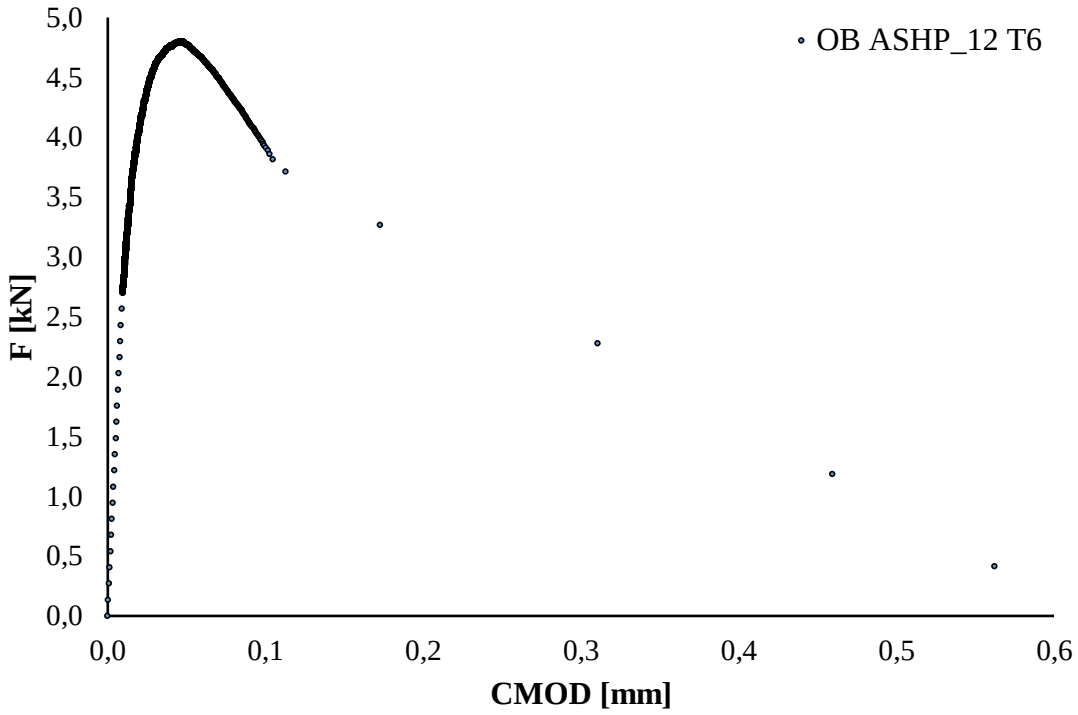


OB REF	y = ax + b	x_o	R^2
A1	y = 335.09x + 0.1832	-5.4672E-04	0.9989
A3	y = 326.40x + 0.2480	-7.5980E-04	0.9989
A7	y = 418.02x - 0.0083	1.9856E-05	0.9997

OB ASHP_12

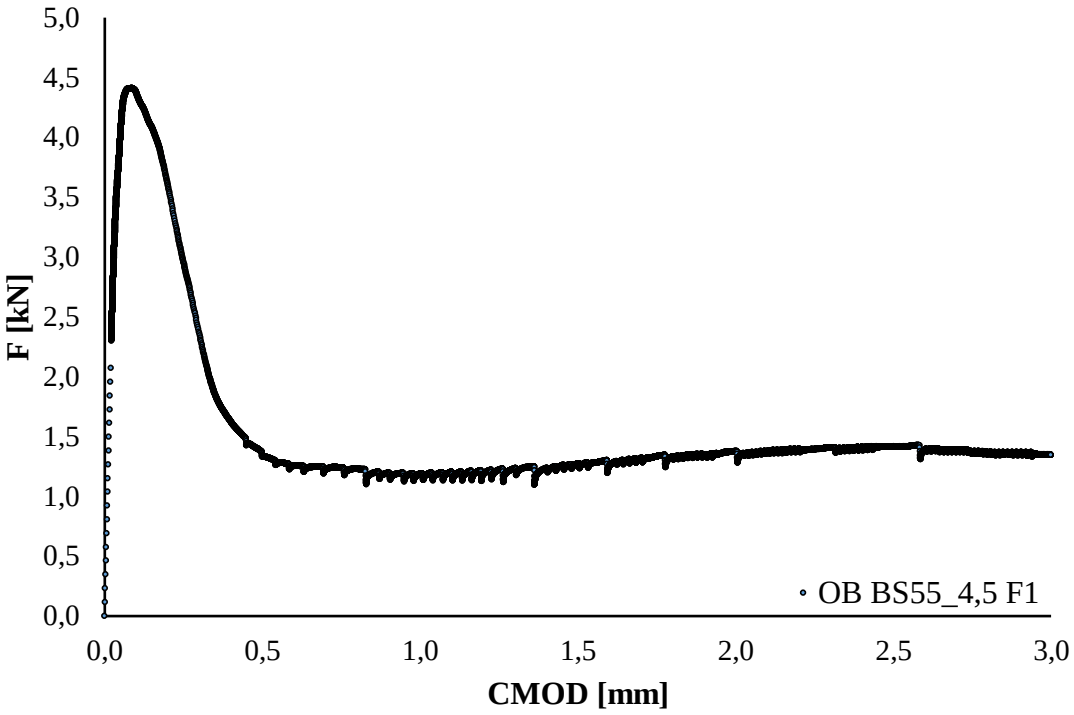

OB ASHP_12 T2
F [kN]
CMOD [mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6

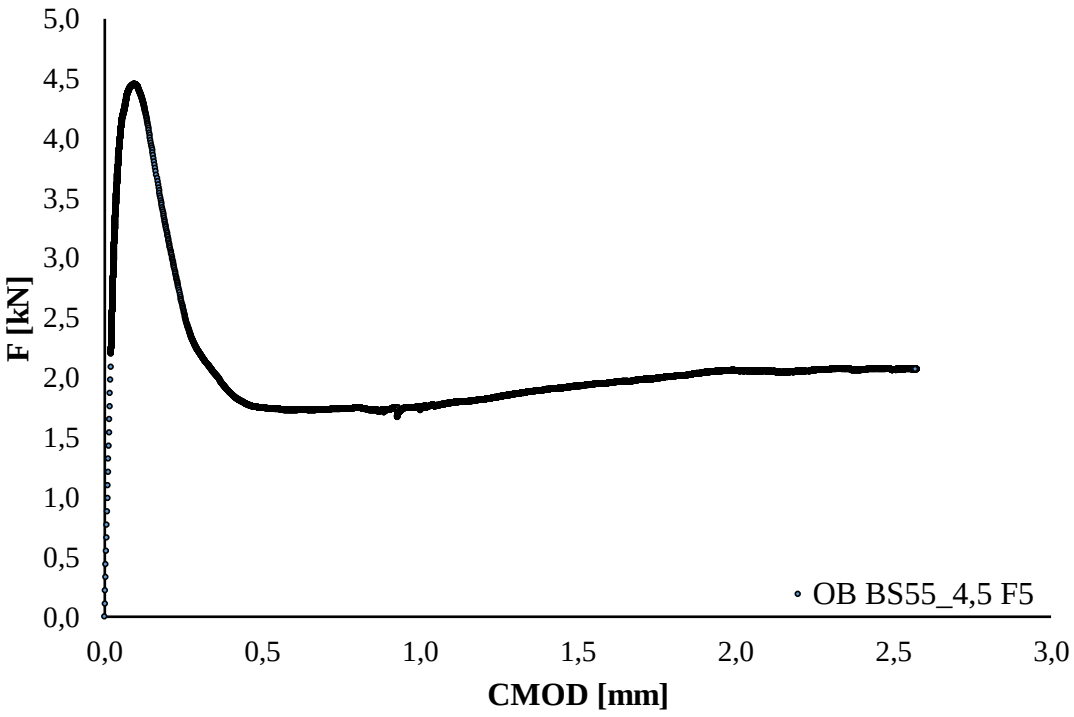

OB ASHP_12 T3
F [kN]
CMOD [mm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6

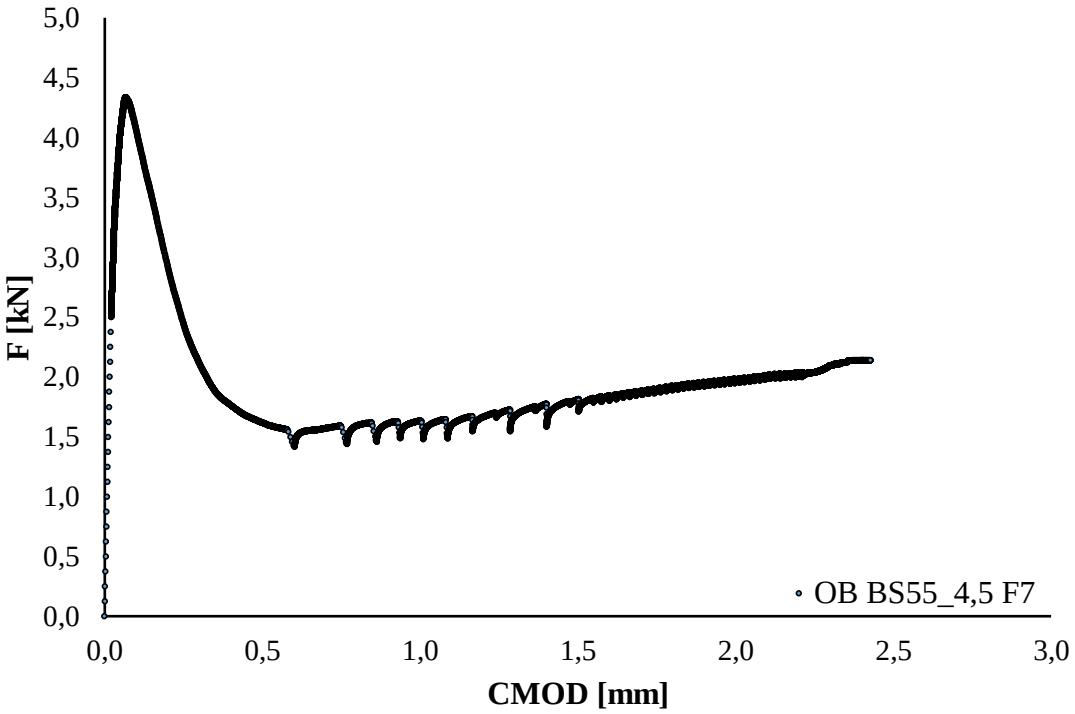


OB ASHP_12	y = ax + b	x_o	R^2
T2	y = 256.83x + 0.1081	-4.2090E-04	0.9880
T3	y = 247.19x - 0.7098	2.8715E-03	0.9911
T6	y = 283.68x - 1.1944	4.2104E-03	0.9944

OB BS55_4,5

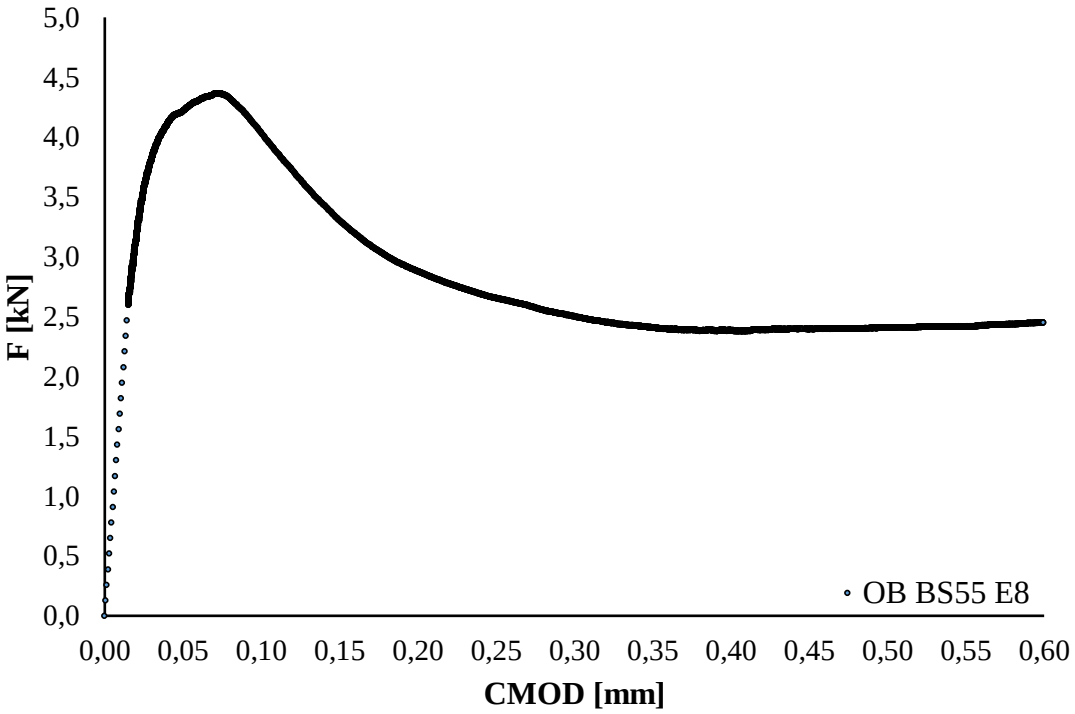

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F1

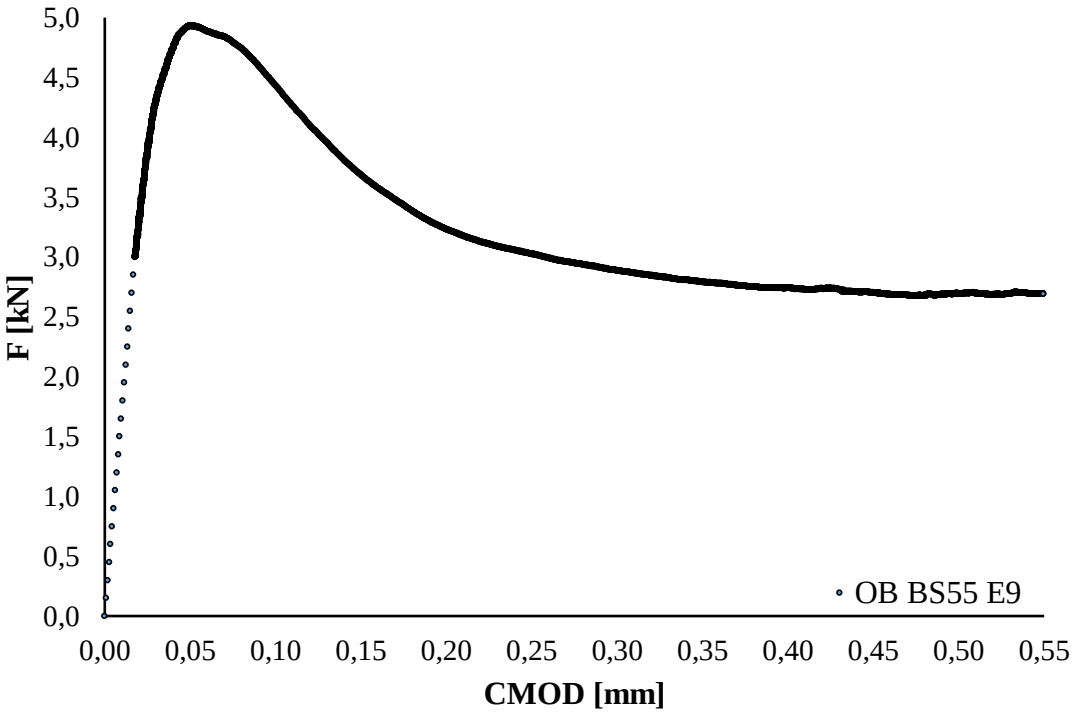

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F5



OB BS55_4,5	y = ax + b	x_0	R^2
F1	y = 105.83x - 0.0251	2.3717E-04	0.9991
F5	y = 106.84x + 0.0679	-6.3553E-04	0.9958
F7	y = 118.85x - 0.8098	6.8136E-03	0.9948

OB BS55


5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
OB BS55 E8
0,00 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60
CMOD [mm]


5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
F [kN]
OB BS55 E9
0,00 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55
CMOD [mm]

OB BS55	y = ax + b	x_o	R^2
E7	-	-	-
E8	y = 171.85x - 0.1277	7.4309E-04	0.9976
E9	y = 169.32x + 0.5098	-3.0109E-03	0.9971

P3. Vstupní data pro program StiCrack *d*

P3.1 Tělesa z lehkého betonu

LB REF

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T3**	**T5**
D	mm	100.37	100.46	100.26
B	mm	97.96	98.46	98.90
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	34.06	34.20	33.78
m	kg	7.674	7.617	7.645
H_0	mm	2.14	2.22	2.26
P_i	N	2850.00	1426.00	2115.00
d_i	mm	2.189E-02	1.174E-02	1.661E-02
P_{max}	N	3802.00	3555.00	3740.00
d_c	mm	3.883E-02	3.889E-02	4.072E-02
f_c	MPa	69.28	70.90	68.96

LB FF-19

Symbol	*Jednotky*	**T7**	**T8**	**T9**
D	mm	99.99	100.22	100.18
B	mm	101.69	100.56	98.04
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	32.27	32.50	34.11
m	kg	7.680	7.619	7.594
H_0	mm	2.49	2.52	2.25
P_i	N	1140.00	2186.00	1501.00
d_i	mm	8.101E-03	1.537E-02	1.185E-02
P_{max}	N	4595.00	3953.00	4143.00
d_c	mm	4.907E-02	4.728E-02	4.411E-02
f_c	MPa	66.06	70.12	54.22

LB FF-38

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T3**	**T8**
D	mm	100.16	100.40	100.09
B	mm	99.06	99.63	100.40
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	34.42	34.64	34.34
m	kg	7.479	7.463	7.615
H_0	mm	2.64	2.55	2.49
P_i	N	1331.00	2377.00	1902.00
d_i	mm	9.107E-03	1.944E-02	1.586E-02
P_{max}	N	3477.00	4222.00	4020.00
d_c	mm	5.146E-02	4.659E-02	7.400E-02
f_c	MPa	62.95	65.66	50.79

LB FF-54

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T5**
D	mm	100.05	100.04	100.18
B	mm	98.09	98.19	98.04
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	35.00	34.73	34.11
m	kg	7.539	7.541	7.594
H_0	mm	2.48	2.45	2.36
P_i	N	2567.00	2566.00	2375.00
d_i	mm	2.104E-02	2.498E-02	1.983E-02
P_{max}	N	4145.00	3281.00	3814.00
d_c	mm	5.138E-02	4.044E-02	4.855E-02
f_c	MPa	54.90	57.62	63.33

LB ASHP_12

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T6**
D	mm	100.07	100.28	100.12
B	mm	98.39	100.04	99.60
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	31.78	31.99	31.70
m	kg	7.600	7.738	7.713
H_0	mm	2.49	2.53	2.52
P_i	N	3326.00	1615.00	1426.00
d_i	mm	2.261E-02	1.192E-02	1.118E-02
P_{max}	N	4645.00	4638.00	4135.00
d_c	mm	4.320E-02	4.410E-02	3.855E-02
f_c	MPa	72.83	70.62	72.00

LB BS55_4,5

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T4**	**T6**
D	mm	100.12	100.23	100.03
B	mm	101.18	99.92	99.60
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	35.70	32.73	34.30
m	kg	7.841	7.908	7.798
H_0	mm	2.43	2.61	2.46
P_i	N	2090.00	2565.00	2850.00
d_i	mm	1.966E-02	2.009E-02	1.748E-02
P_{max}	N	2622.00	3692.00	3761.00
d_c	mm	3.543E-02	2.425E-02	3.418E-02
f_c	MPa	66.78	67.27	62.84

LB BS55

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T2**	**T4**
D	mm	100.25	100.25	100.38
B	mm	100.99	99.24	100.97
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	33.10	33.18	33.06
m	kg	7.797	7.738	7.826
H_0	mm	2.45	2.40	2.44
P_i	N	2850.00	2850.00	2945.00
d_i	mm	1.999E-02	1.568E-02	2.097E-02
P_{max}	N	4448.00	4046.00	4373.00
d_c	mm	4.559E-02	4.831E-02	3.998E-02
f_c	MPa	61.50	71.25	69.85

P3.2 Tělesa z obyčejného betonu

OB REF

Symbol	*Jednotky*	**A1**	**A5**	**A7**
D	mm	100.78	100.40	100.60
B	mm	100.79	99.07	101.45
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.27	400.23	400.13
a_0	mm	34.99	34.91	34.46
m	kg	9.199	8.980	9.102
H_0	mm	2.21	2.21	2.21
P_i	N	1000.00	1000.00	1000.00
d_i	mm	5.706E-03	6.082E-03	5.791E-03
P_{max}	N	5500.00	5408.00	6006.00
d_c	mm	4.761E-02	4.715E-02	5.067E-02
f_c	MPa	68.19	69.18	70.25

OB ASHP_12

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T6**
D	mm	100.32	99.88	100.23
B	mm	97.23	97.24	97.83
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	31.90	31.95	31.87
m	kg	8.889	8.870	8.913
H_0	mm	2.62	2.46	2.62
P_i	N	1900.00	1425.00	2375.00
d_i	mm	1.212E-02	7.402E-03	1.590E-02
P_{max}	N	4271.00	4400.00	4800.00
d_c	mm	5.551E-02	5.297E-02	5.650E-02
f_c	MPa	74.98	73.72	66.73

OB BS55_4,5

Symbol	*Jednotky*	**F1**	**F5**	**F7**
D	mm	100.29	100.16	100.24
B	mm	99.95	100.27	100.16
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	37.66	40.11	39.92
m	kg	9.102	9.118	9.124
H_0	mm	2.39	2.55	2.46
P_i	N	2185.00	2375.00	2185.00
d_i	mm	1.696E-02	2.309E-02	1.801E-02
P_{max}	N	4409.00	4451.00	4338.00
d_c	mm	8.811E-02	8.105E-02	7.512E-02
f_c	MPa	68.89	60.58	63.58

OB BS55

Symbol	*Jednotky*	**E7**	**E8**	**E9**
D	mm	100.16	100.42	100.67
B	mm	99.16	99.11	101.99
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	32.33	32.81	33.69
m	kg	8.740	8.734	9.013
H_0	mm	2.62	2.42	2.42
P_i	N	1235.00	2565.00	2376.00
d_i	mm	8.667E-03	1.513E-02	1.769E-02
P_{max}	N	3961.00	4367.00	4934.00
d_c	mm	4.381E-02	7.651E-02	5.742E-02
f_c	MPa	57.61	57.83	58.14

P4. Vstupní data pro program Excel - VB *CMOD*

P4.1 Tělesa z lehkého betonu

LB REF

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T3**	**T5**
D	mm	100.37	100.46	100.26
B	mm	97.96	98.46	98.90
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	34.06	34.20	33.78
m	kg	7.674	7.617	7.645
H_0	mm	2.14	2.22	2.26
P_i	N	1346.00	1600.00	1500.00
$CMOD_i$	mm	1.084E-02	1.675E-02	1.606E-02
P_{max}	N	3802.00	3547.00	3740.00
$CMOD_c$	mm	5.309E-02	4.678E-02	5.393E-02
f_c	MPa	69.28	70.90	68.96

LB FF-38

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T3**	**T8**
D	mm	100.16	100.40	100.09
B	mm	99.06	99.63	100.40
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	34.42	34.64	34.34
m	kg	7.479	7.463	7.615
H_0	mm	2.64	2.55	2.49
P_i	N	1425.00	1425.00	-
$CMOD_i$	mm	8.510E-03	7.150E-3	-
P_{max}	N	3402.00	4218.00	-
$CMOD_c$	mm	6.179E-2	9.948E-02	-
f_c	MPa	62.95	65.66	50.79

LB FF-54

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T5**
D	mm	100.05	100.04	100.18
B	mm	98.09	98.19	98.04
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	35.00	34.73	34.11
m	kg	7.539	7.541	7.594
H_0	mm	2.48	2.45	2.36
P_i	N	1425.00	1425.00	950.00
$CMOD_i$	mm	1.231E-02	1.120E-02	6.968E-03
P_{max}	N	4143.00	3281.00	3815.00
$CMOD_c$	mm	4.482E-02	3.638E-2	4.144E-02
f_c	MPa	54.90	57.62	63.33

LB ASHP_12

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T6**
D	mm	100.07	100.28	100.12
B	mm	98.39	100.04	99.60
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	31.78	31.99	31.70
m	kg	7.600	7.738	7.713
H_0	mm	2.49	2.53	2.52
P_i	N	-	2850.00	2377.00
$CMOD_i$	mm	-	1.281E-02	9.219E-03
P_{max}	N	-	4638.00	4135.00
$CMOD_c$	mm	-	3.136E-02	2.948E-02
f_c	MPa	72.83	70.62	72.00

LB BS55_4,5

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T4**	**T6**
D	mm	100.12	100.23	100.03
B	mm	101.18	99.92	99.60
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	35.70	32.73	34.30
m	kg	7.841	7.908	7.798
H_0	mm	2.43	2.61	2.46
P_i	N	764.00	2375.00	2340.00
$CMOD_i$	mm	6.600E-03	2.058E-02	2.105E-02
P_{max}	N	2622.00	3692.00	3761.00
$CMOD_c$	mm	3.391E-02	5.458E-02	5.640E-02
f_c	MPa	66.78	67.27	62.48

LB BS55

Symbol	*Jednotky*	**T1**	**T2**	**T4**
D	mm	100.25	100.25	100.38
B	mm	100.99	99.24	100.97
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	33.10	33.18	33.06
m	kg	7.797	7.738	7.826
H_0	mm	2.45	2.40	2.44
P_i	N	2850.00	2281.00	2850.00
$CMOD_i$	mm	9.328E-03	1.207E-02	1.590E-02
P_{max}	N	4448.00	4045.00	4373.00
$CMOD_c$	mm	3.290E-02	4.128E-02	3.998E-02
f_c	MPa	61.50	71.25	69.85

P4.2 Tělesa z obyčejného betonu

OB REF

Symbol	*Jednotky*	**A1**	**A5**	**A7**
D	mm	100.78	100.40	100.60
B	mm	100.79	99.07	101.45
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.27	400.23	400.13
a_0	mm	34.99	34.91	34.46
m	kg	9.199	8.980	9.102
H_0	mm	2.21	2.21	2.21
P_i	N	2251.00	2250.00	2250.00
$CMOD_i$	mm	6.720E-03	6.893E-03	5.383E-03
P_{max}	N	5500.00	5408.00	6006.00
$CMOD_c$	mm	3.095E-02	2.717E-02	2.465E-02
f_c	MPa	68.19	69.18	70.25

OB ASHP_12

Symbol	*Jednotky*	**T2**	**T3**	**T6**
D	mm	100.32	99.88	100.23
B	mm	97.23	97.24	97.83
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	31.90	31.95	31.87
m	kg	8.889	8.870	8.913
H_0	mm	2.62	2.46	2.62
P_i	N	2096.00	3000.00	2566.00
$CMOD_i$	mm	8.141E-03	1.214E-02	9.045E-03
P_{max}	N	4271.00	4396.00	4790.00
$CMOD_c$	mm	4.837E-02	4.260E-02	4.911E-02
f_c	MPa	74.98	73.72	66.73

OB BS55_4,5

Symbol	*Jednotky*	**F1**	**F5**	**F7**
D	mm	100.29	100.16	100.24
B	mm	99.95	100.27	100.16
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	37.66	40.11	39.92
m	kg	9.102	9.118	9.124
H_0	mm	2.39	2.55	2.46
P_i	N	2300.00	2090.00	2375.00
$CMOD_i$	mm	2.173E-02	1.956E-02	1.998E-02
P_{max}	N	4409.00	4451.00	4338.00
$CMOD_c$	mm	8.739E-02	9.322E-02	6.841E-02
f_c	MPa	68.89	60.58	63.58

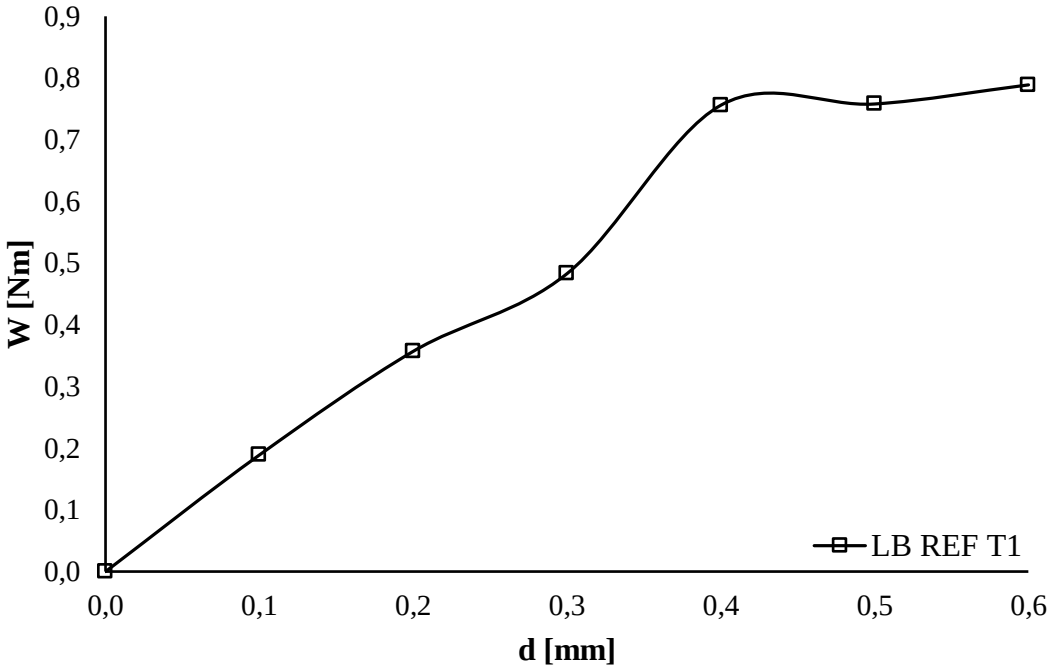
OB BS55

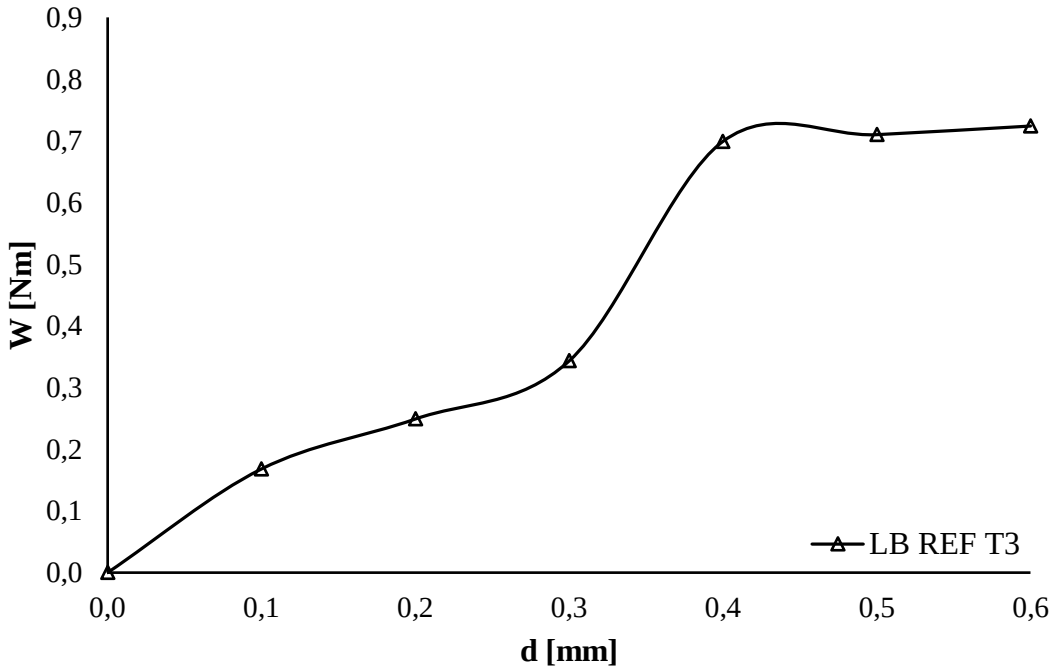
Symbol	*Jednotky*	**E7**	**E8**	**E9**
D	mm	100.16	100.42	100.67
B	mm	99.16	99.11	101.99
S	mm	300.00	300.00	300.00
L	mm	400.00	400.00	400.00
a_0	mm	32.33	32.81	33.69
m	kg	8.740	8.734	9.013
H_0	mm	2.62	2.42	2.42
P_i	N	-	2470.00	2851.00
$CMOD_i$	mm	-	1.437E-02	1.684E-02
P_{max}	N	-	4376.00	4934.00
$CMOD_c$	mm	-	7.200E-02	5.013E-02
f_c	MPa	57.61	57.83	58.14

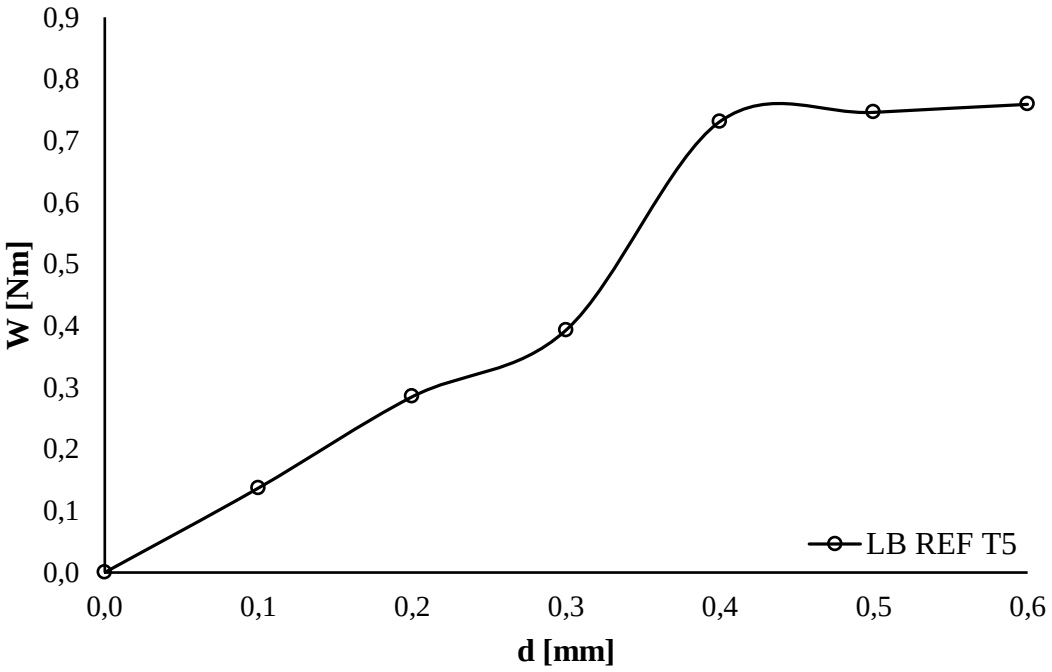
P5. Lomová práce zkušebních těles

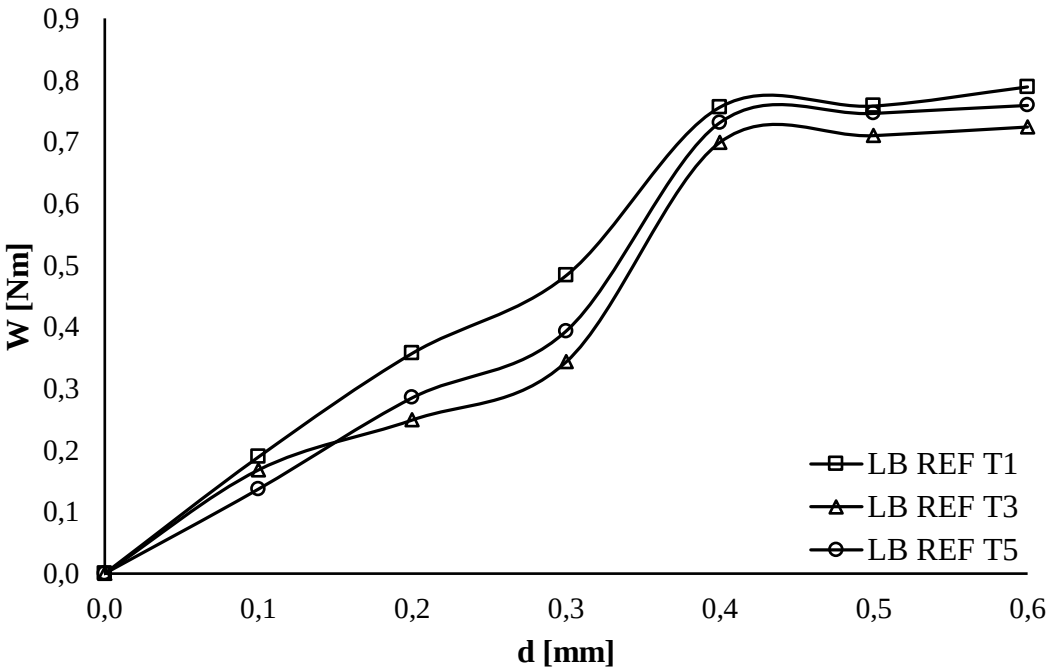
P5.1 Tělesa z lehkého betonu – *d*

LB REF

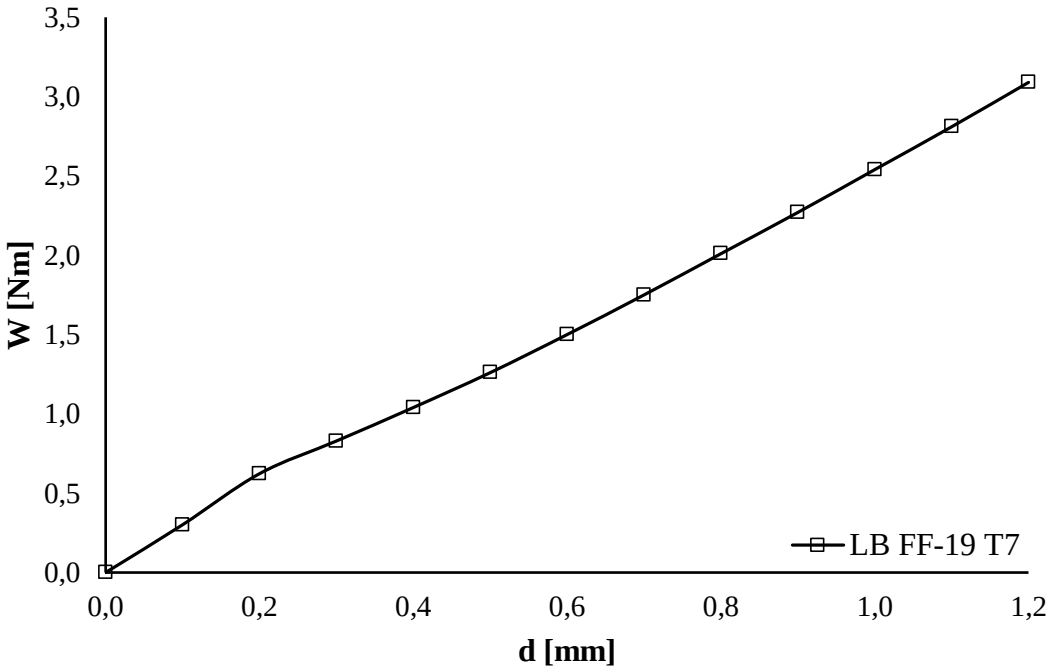


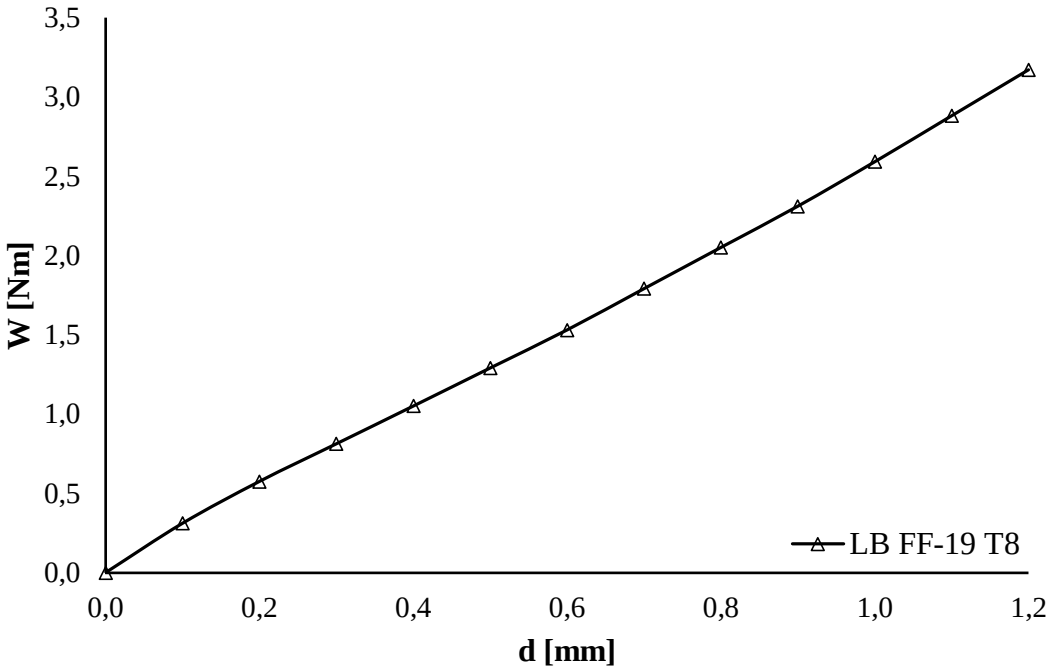


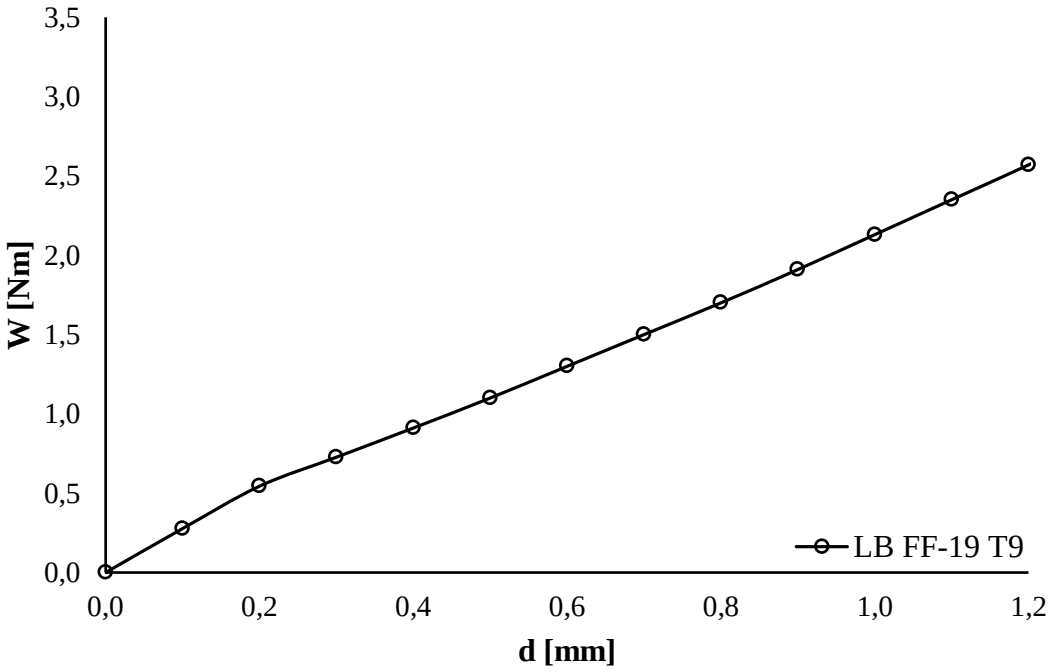

W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
d [mm]
LB REF T5

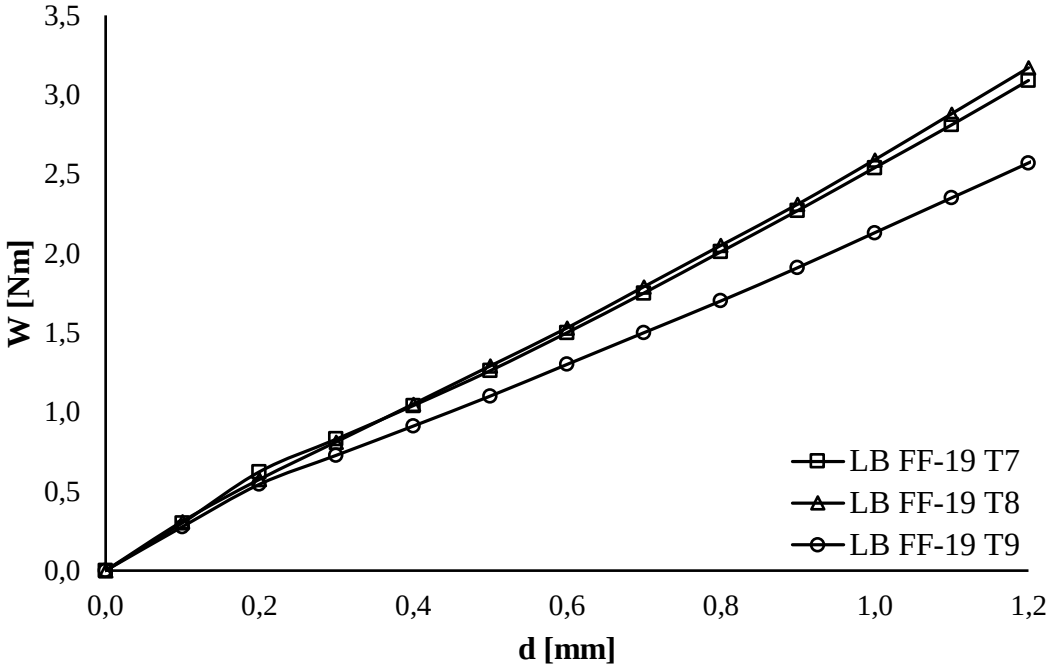

W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
d [mm]
LB REF T1
LB REF T3
LB REF T5

LB FF-19

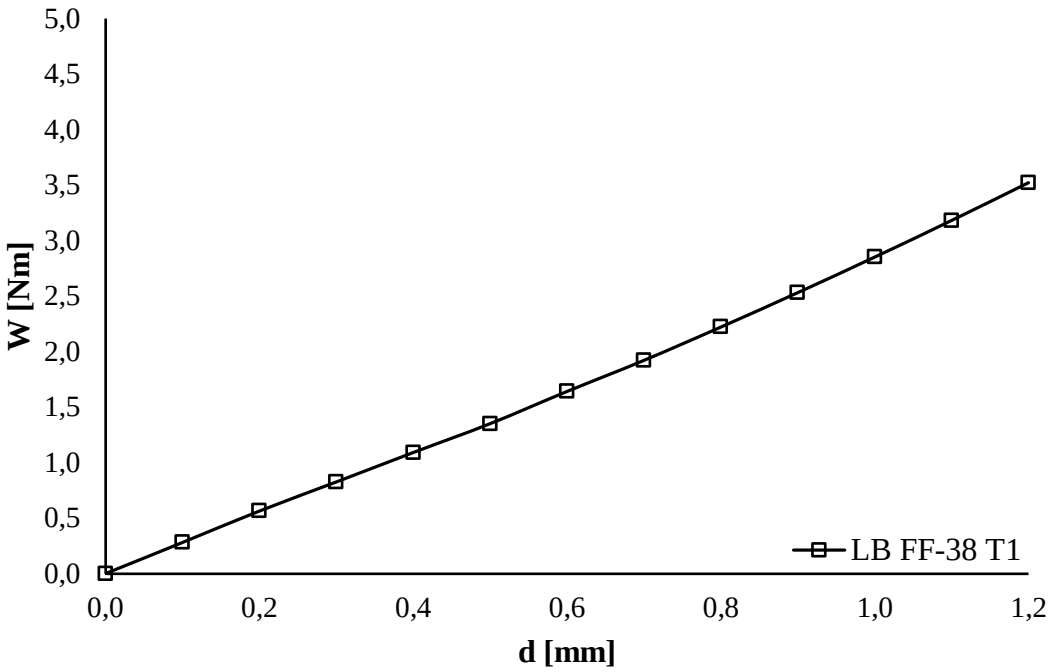

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T7

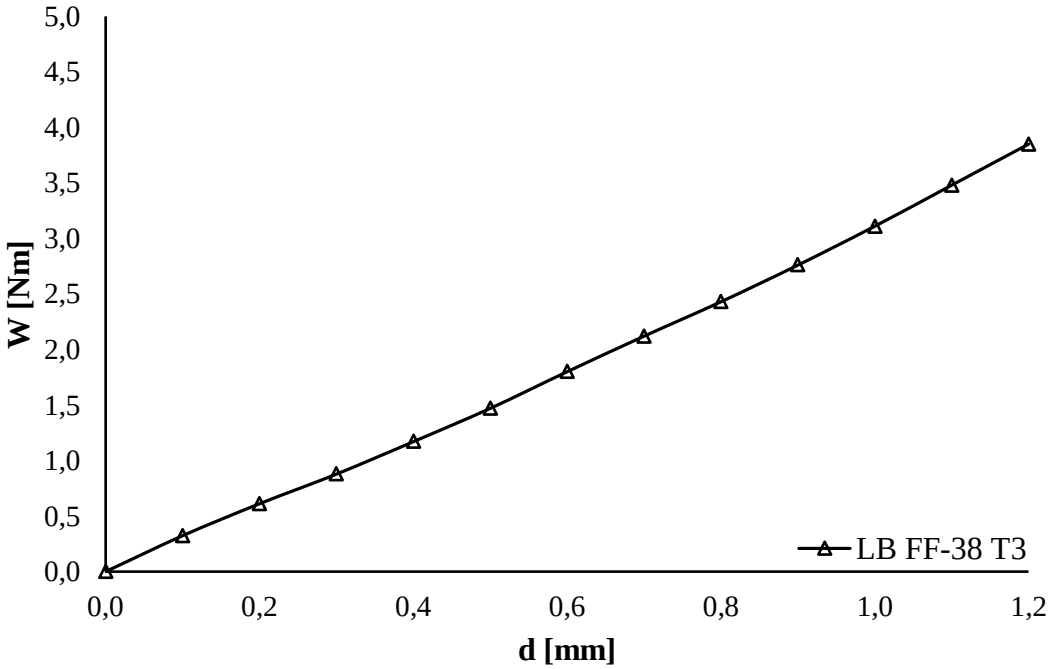

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T8

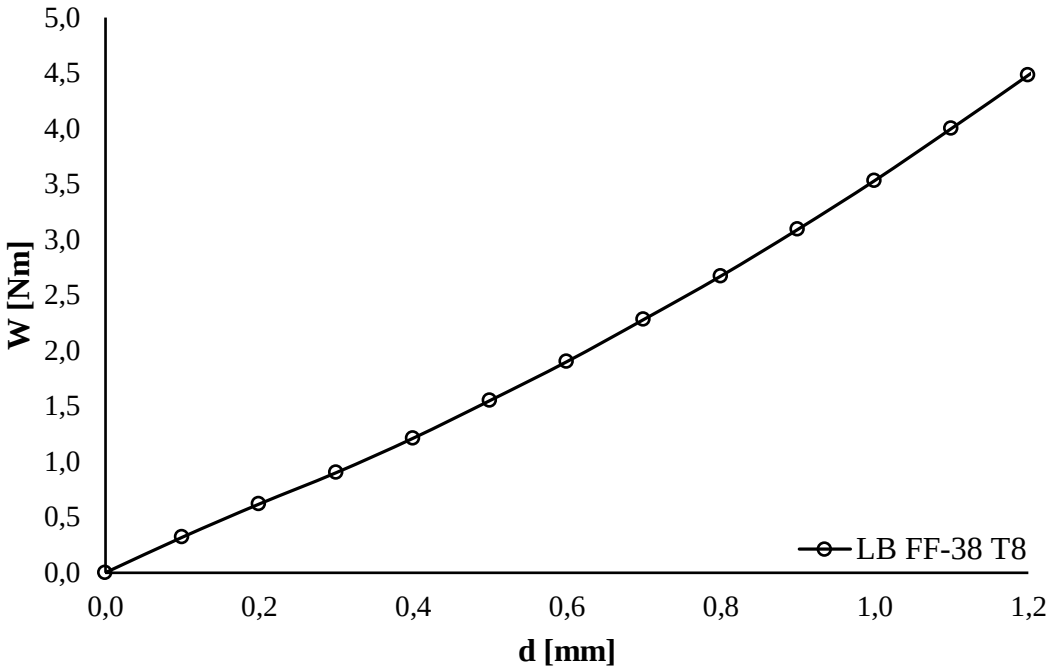

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T9

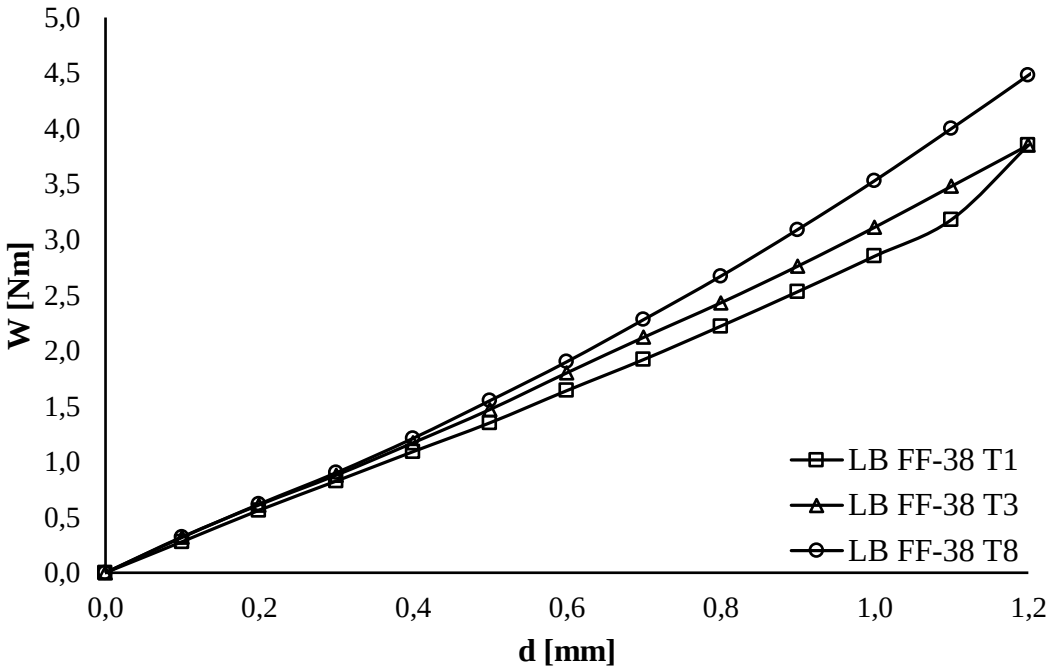

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T7
LB FF-19 T8
LB FF-19 T9

LB FF-38

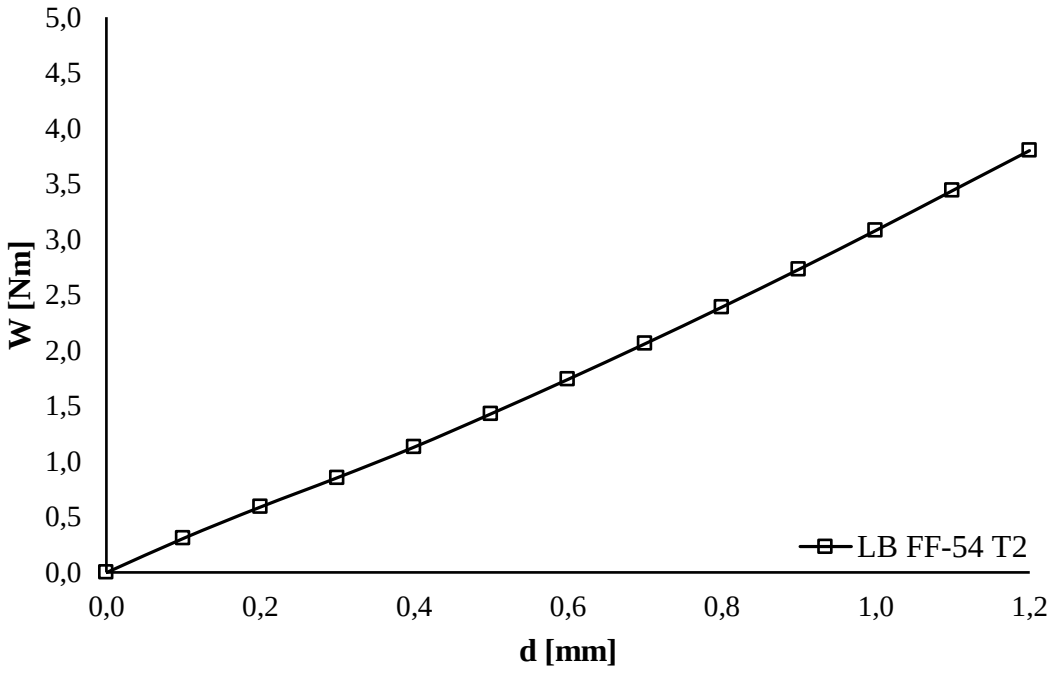

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T1

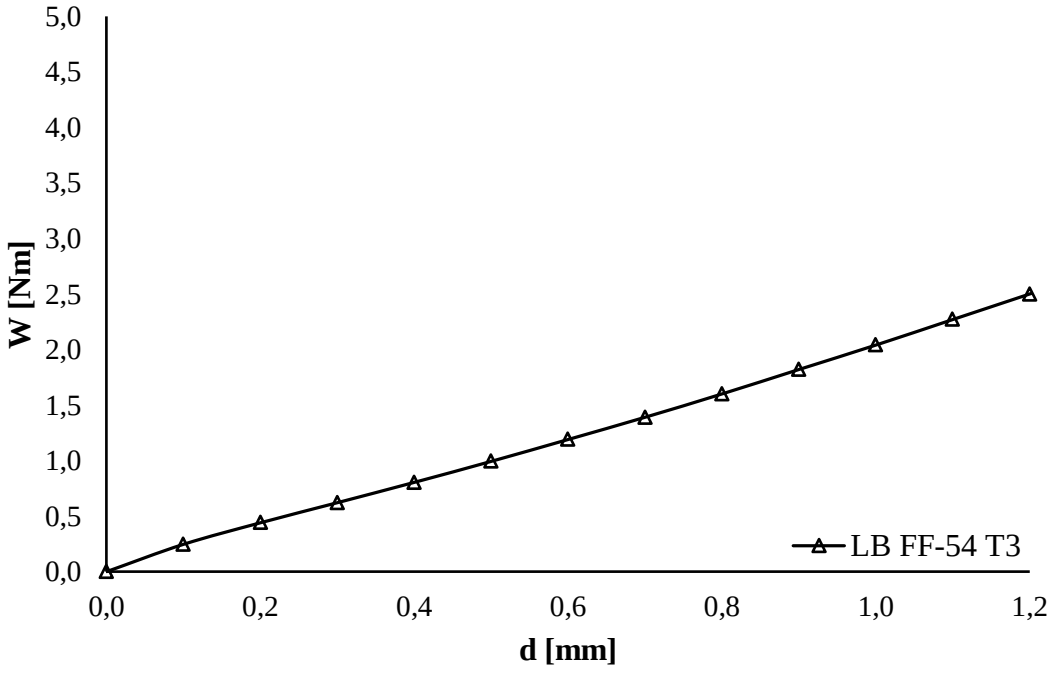

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T3

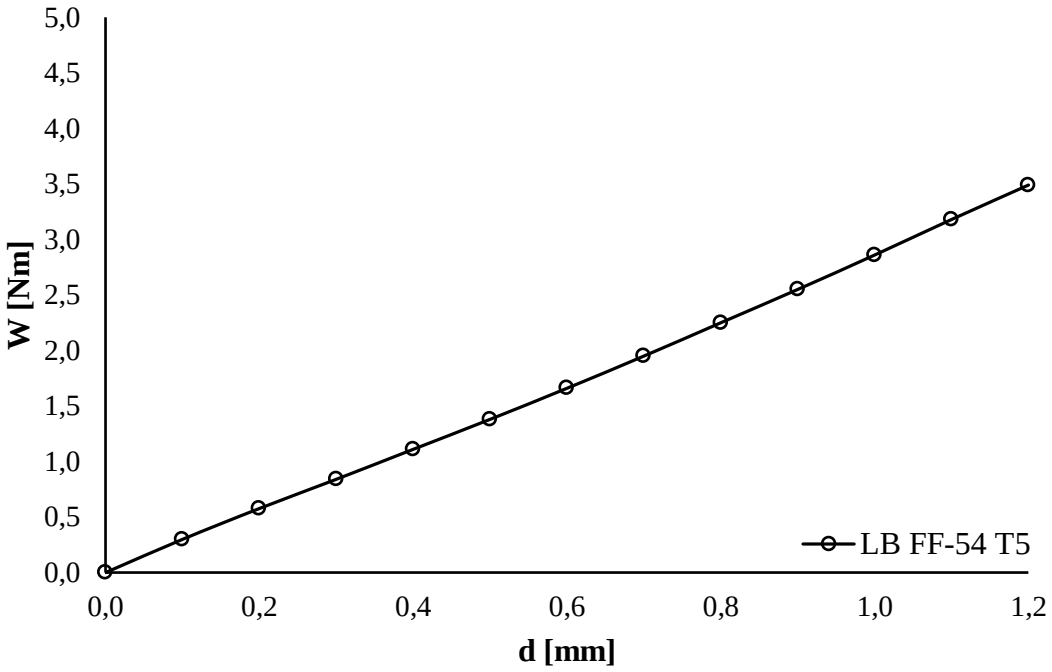

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T8

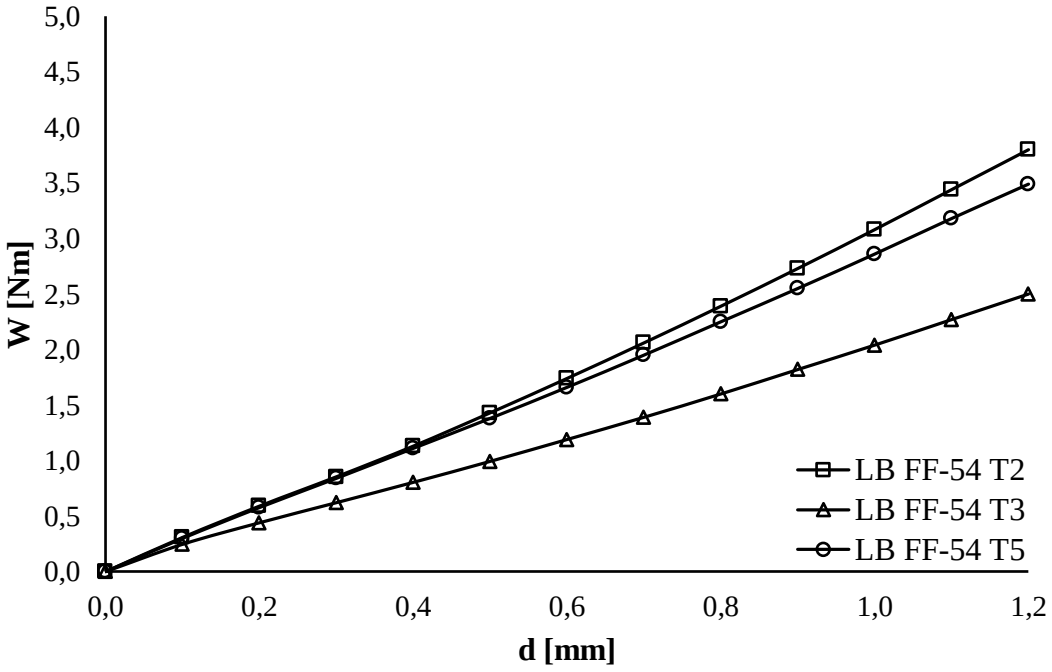

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T1
LB FF-38 T3
LB FF-38 T8

LB FF-54

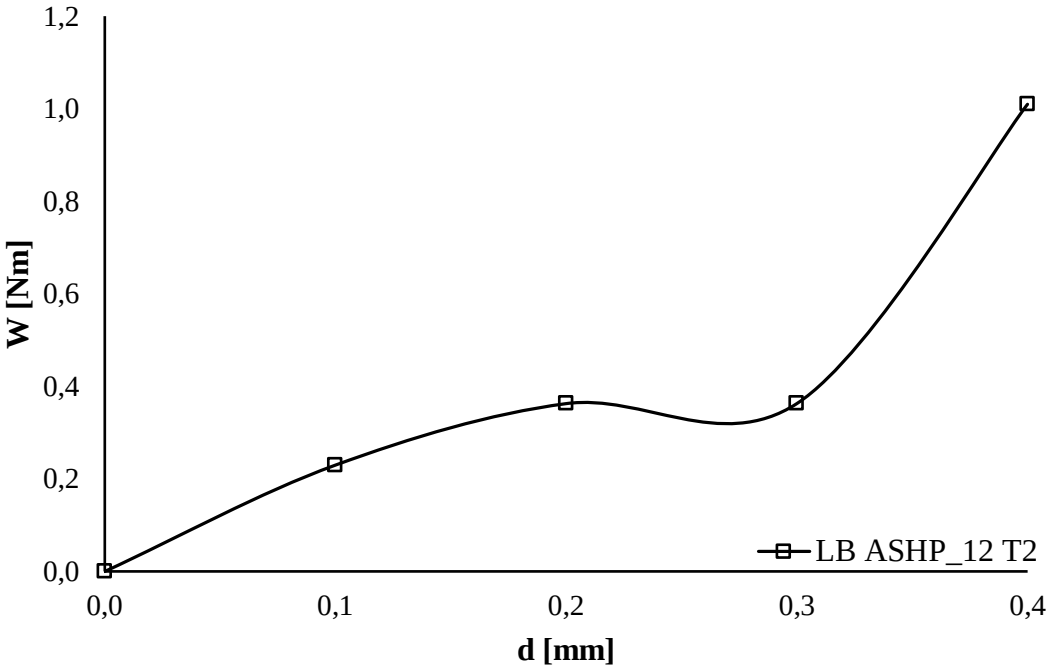

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T2

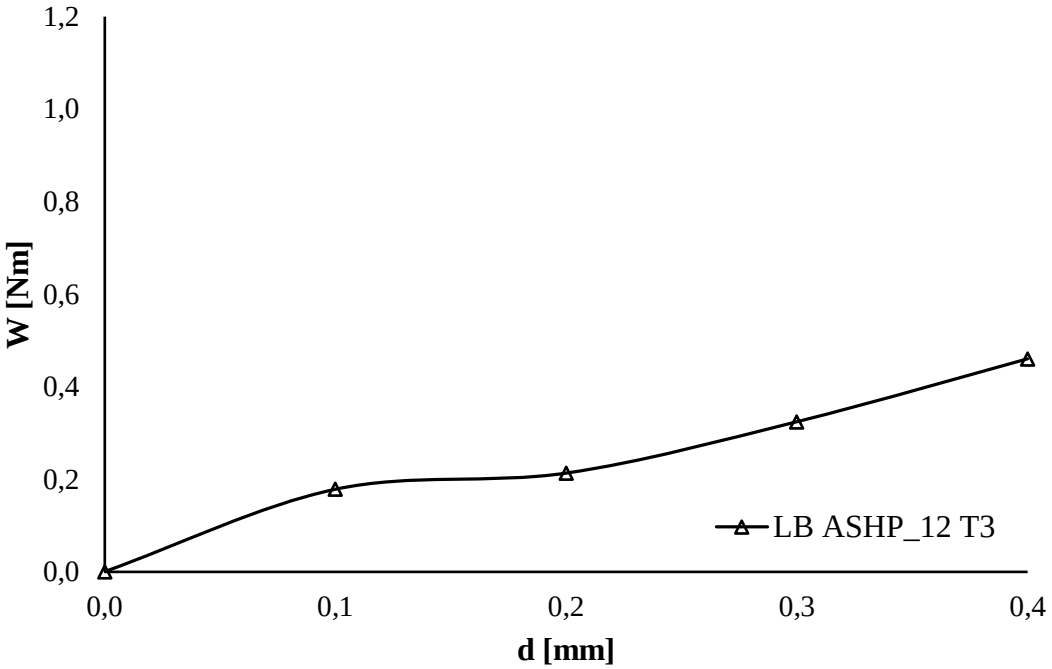

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T3

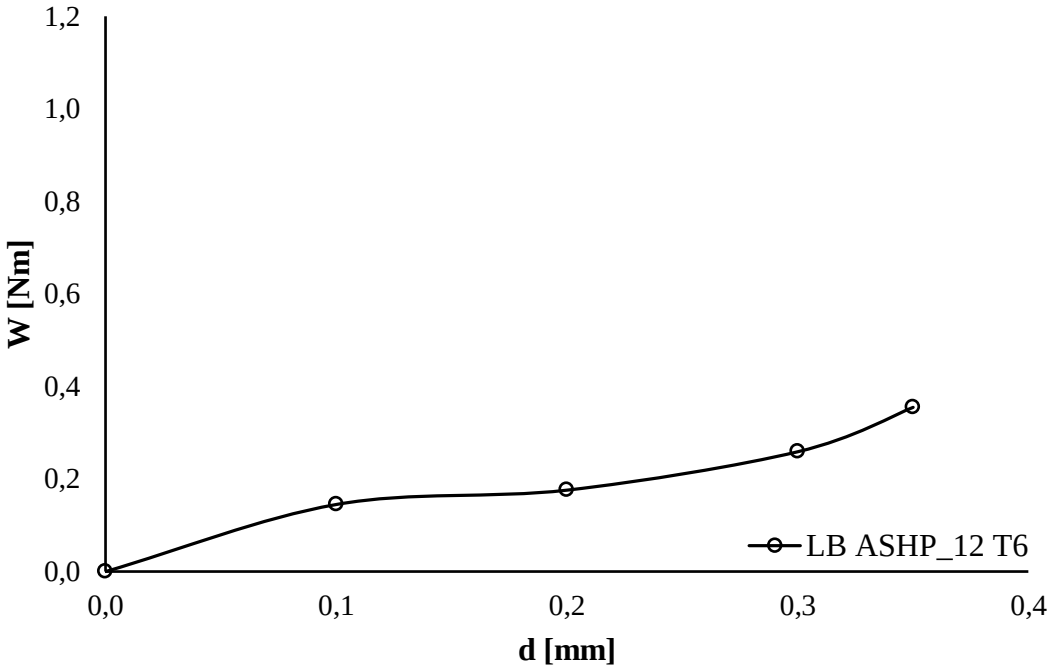

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T5

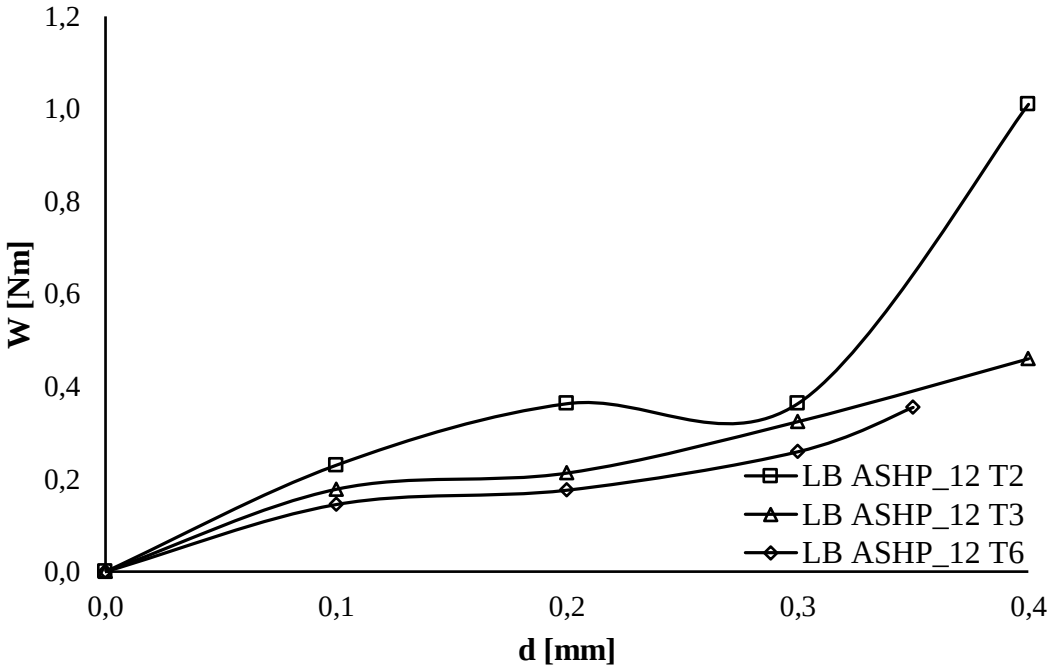

5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T2
LB FF-54 T3
LB FF-54 T5

LB ASHP_12

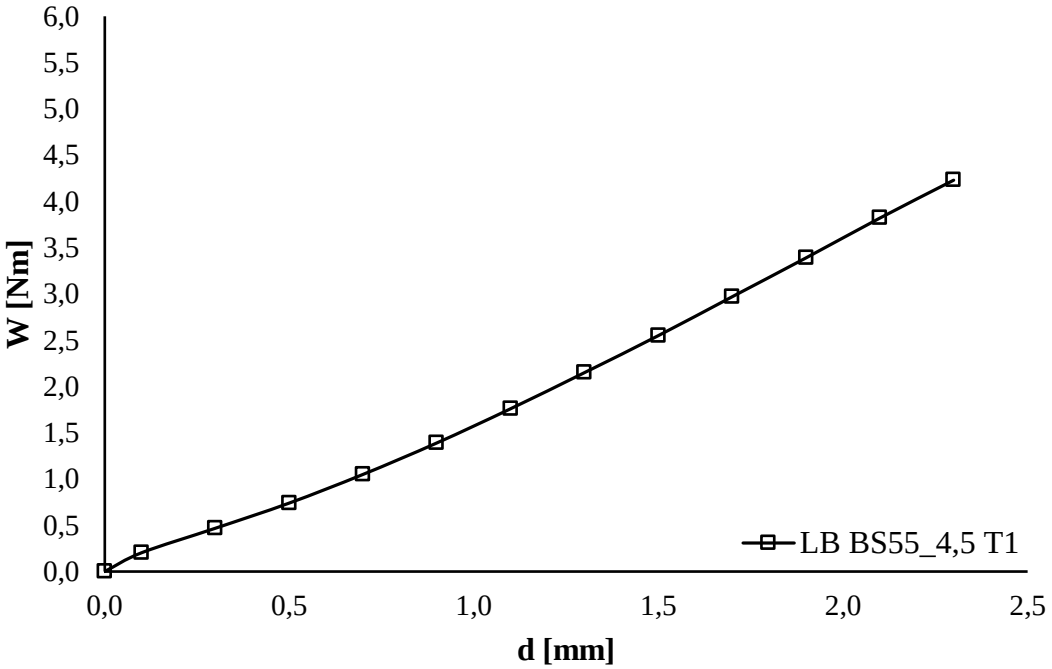

1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
LB ASHP_12 T2

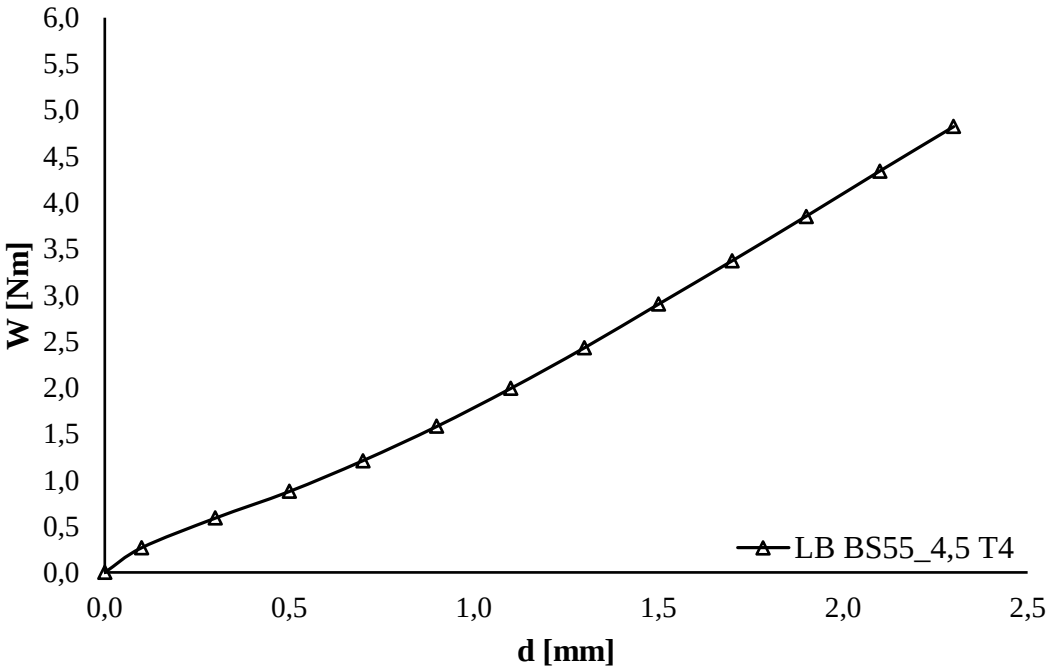

1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
LB ASHP_12 T3

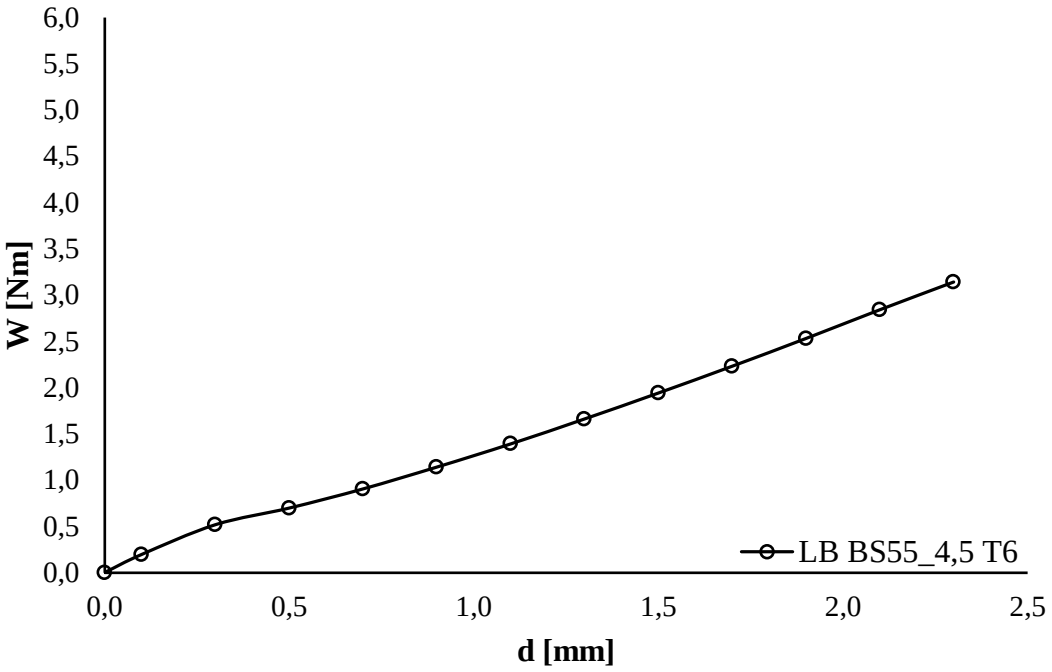

1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
LB ASHP_12 T6

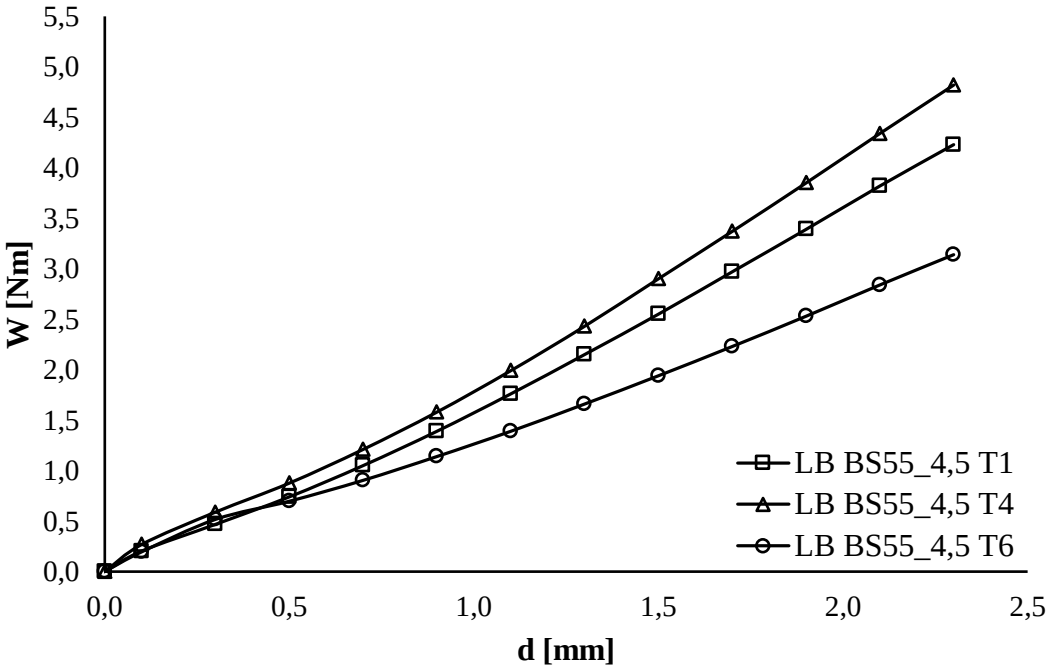

1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
LB ASHP_12 T2
LB ASHP_12 T3
LB ASHP_12 T6

LB BS55_4,5

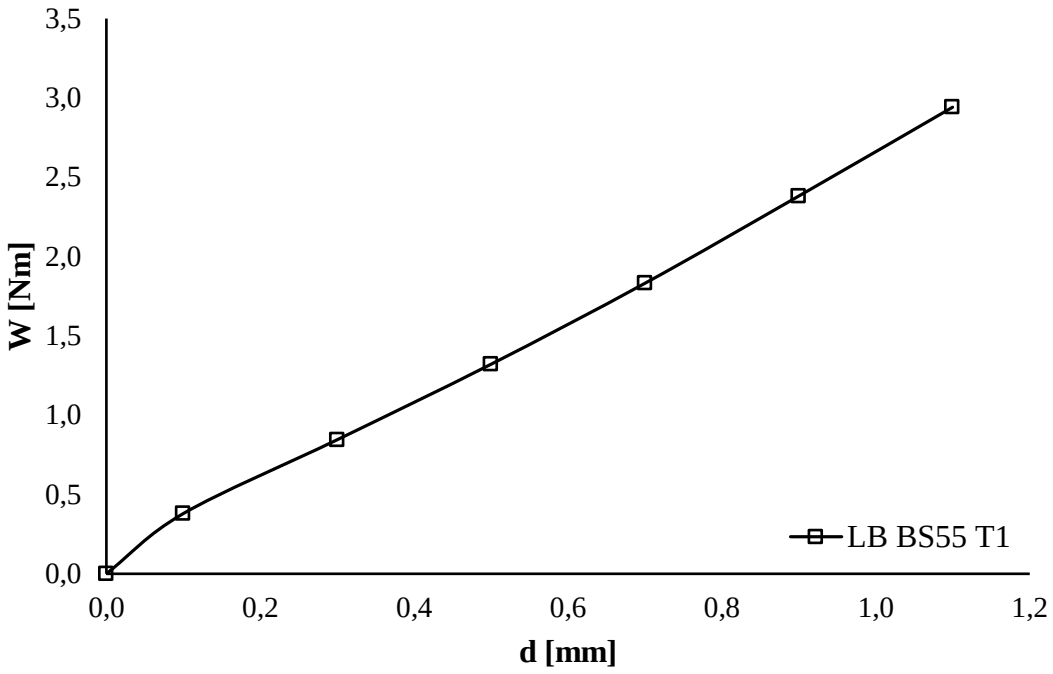

W [Nm]
d [mm]
LB BS55_4,5 T1
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
5,5
6,0

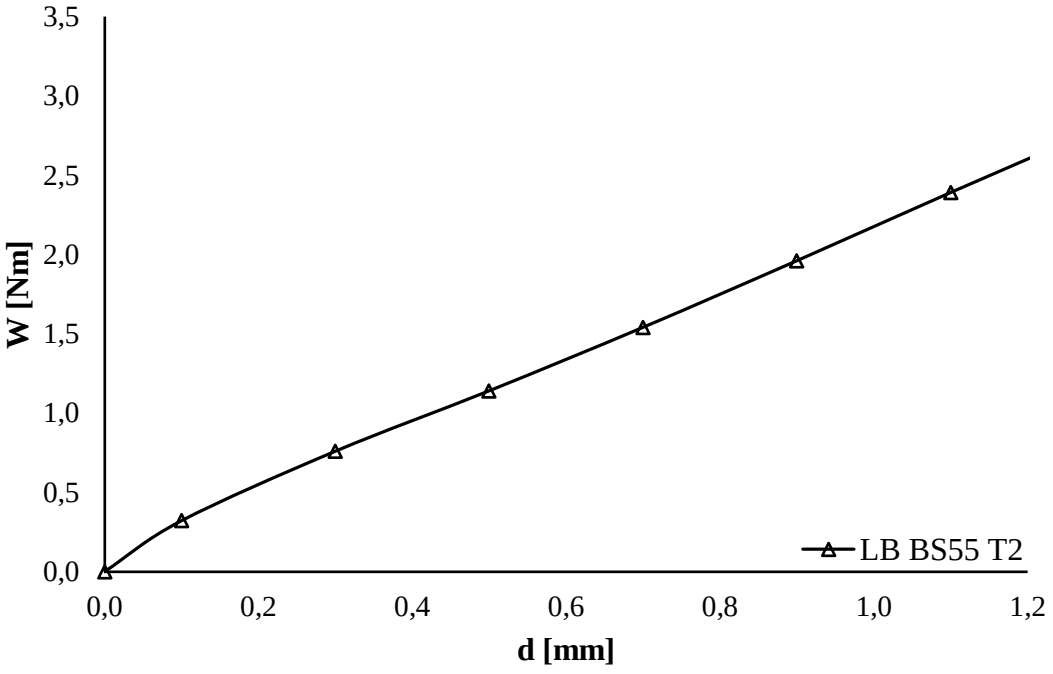

W [Nm]
d [mm]
LB BS55_4,5 T4
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
5,5
6,0

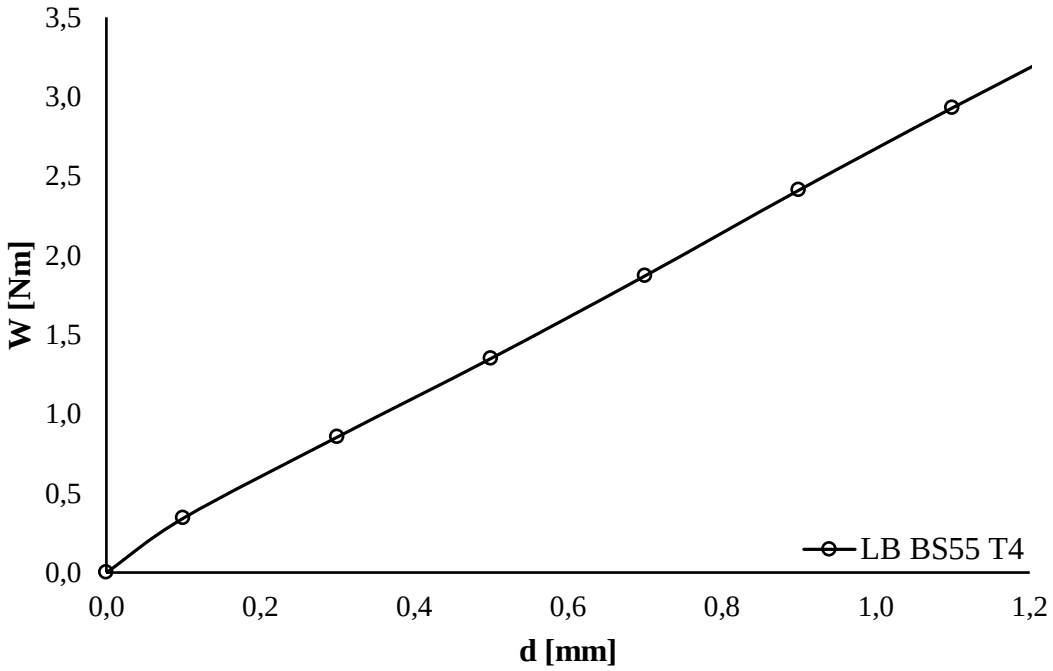

W [Nm]
d [mm]
LB BS55_4,5 T6

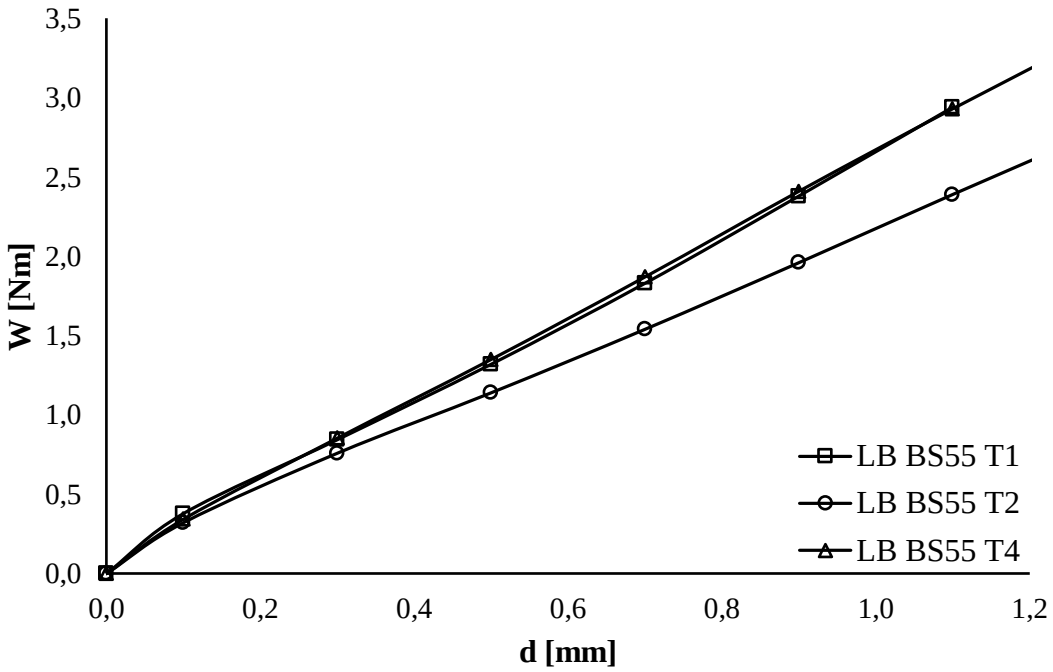

W [Nm]
d [mm]
LB BS55_4,5 T1
LB BS55_4,5 T4
LB BS55_4,5 T6

LB BS55


3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB BS55 T1

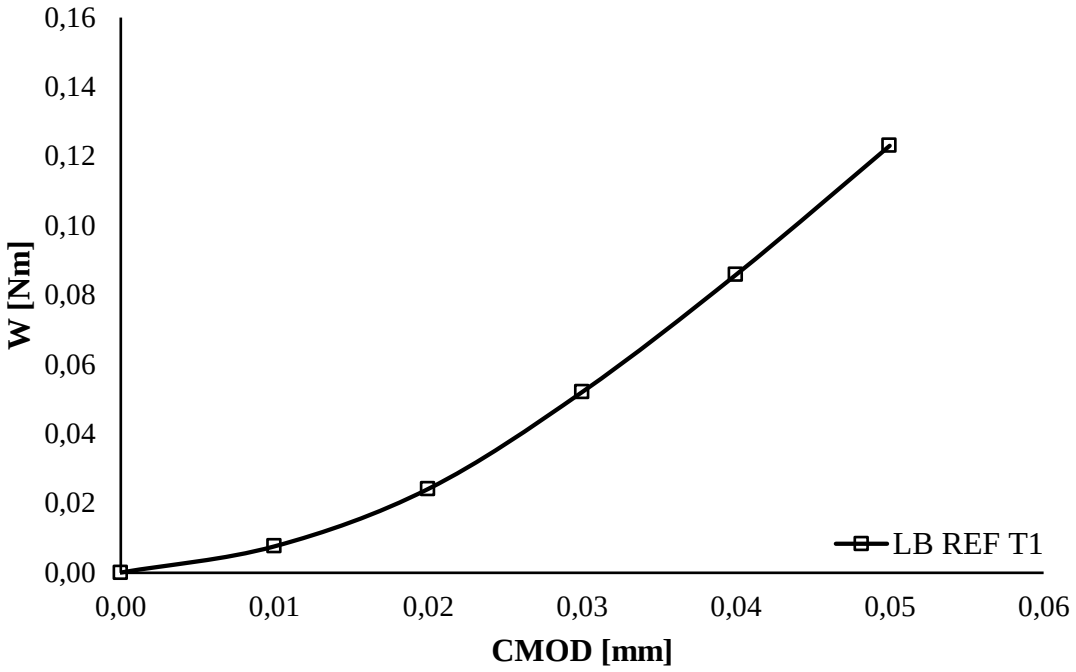

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB BS55 T2

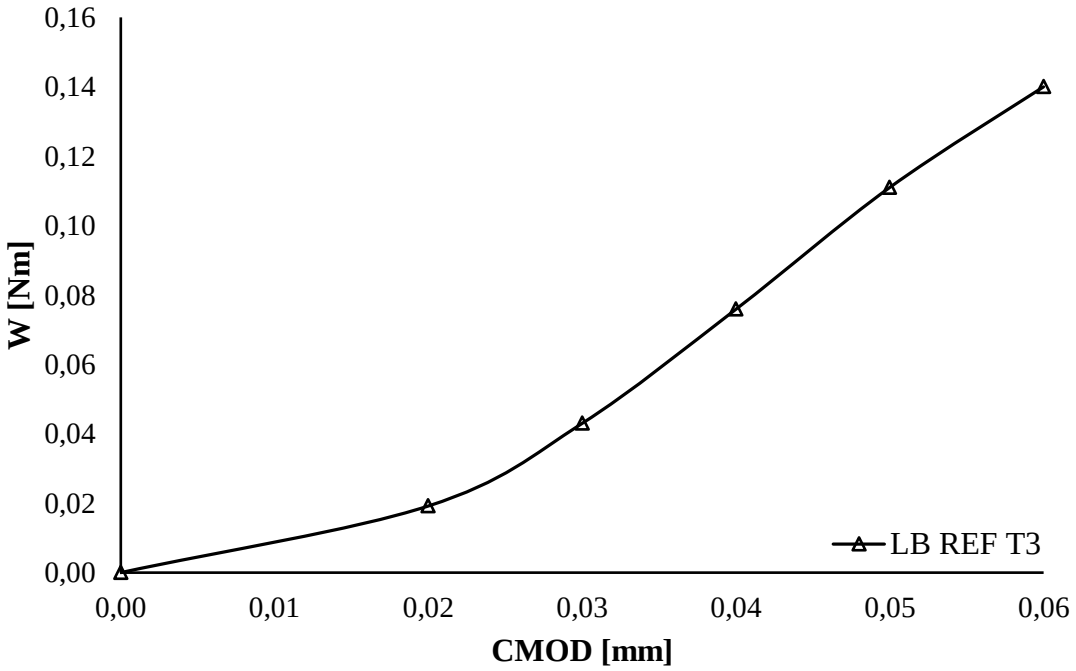

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB BS55 T4

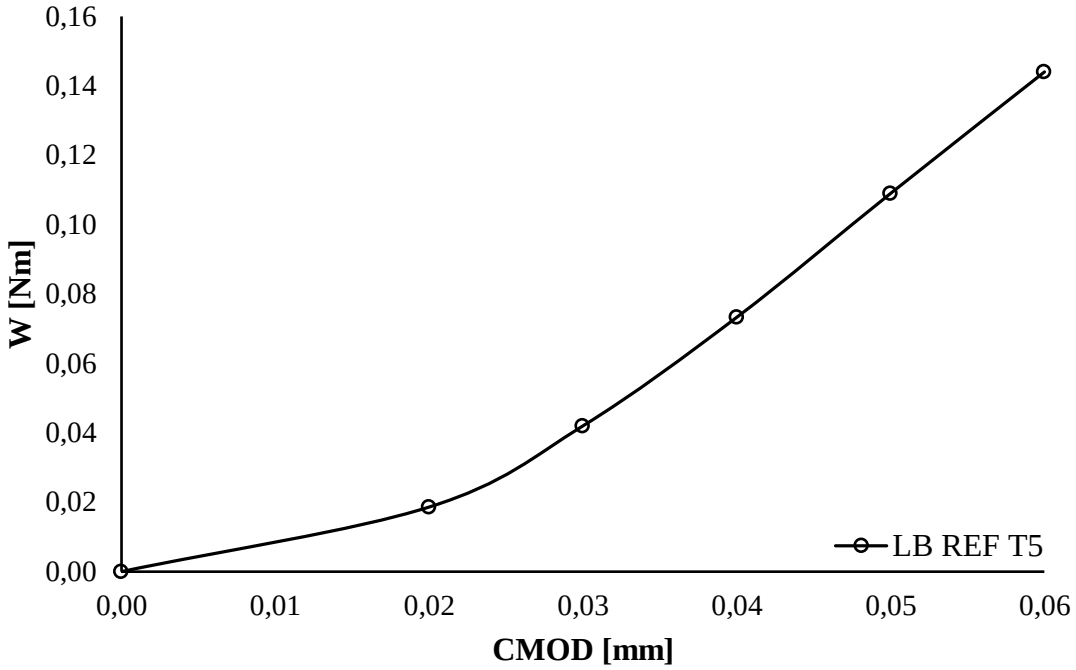

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB BS55 T1
LB BS55 T2
LB BS55 T4

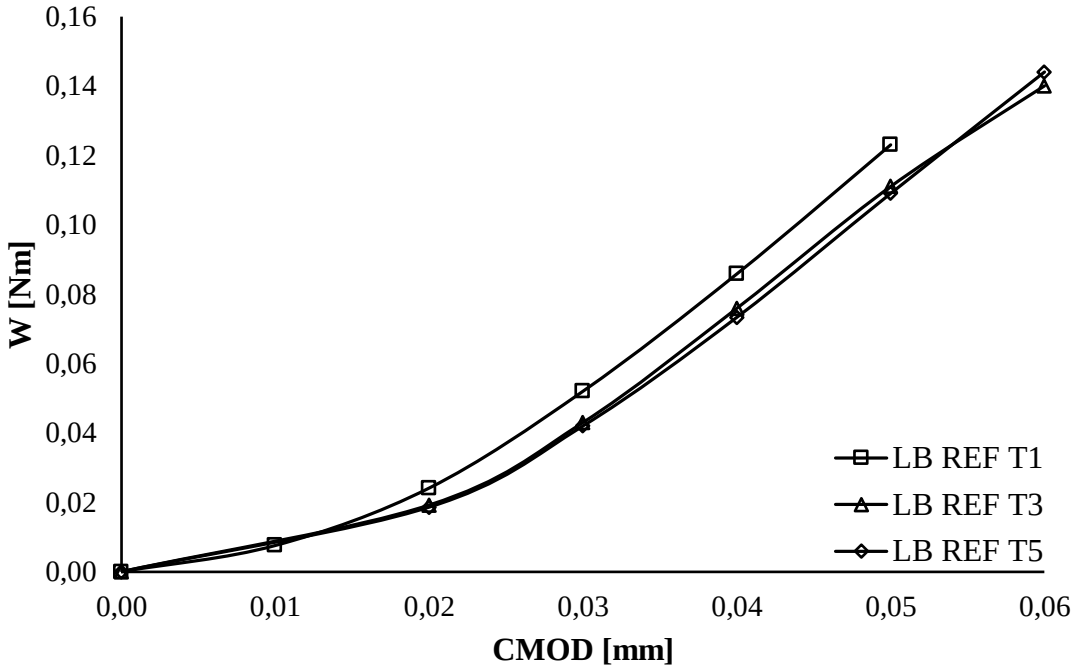
P5.2 Tělesa z lehkého betonu – $CMOD$

LB REF

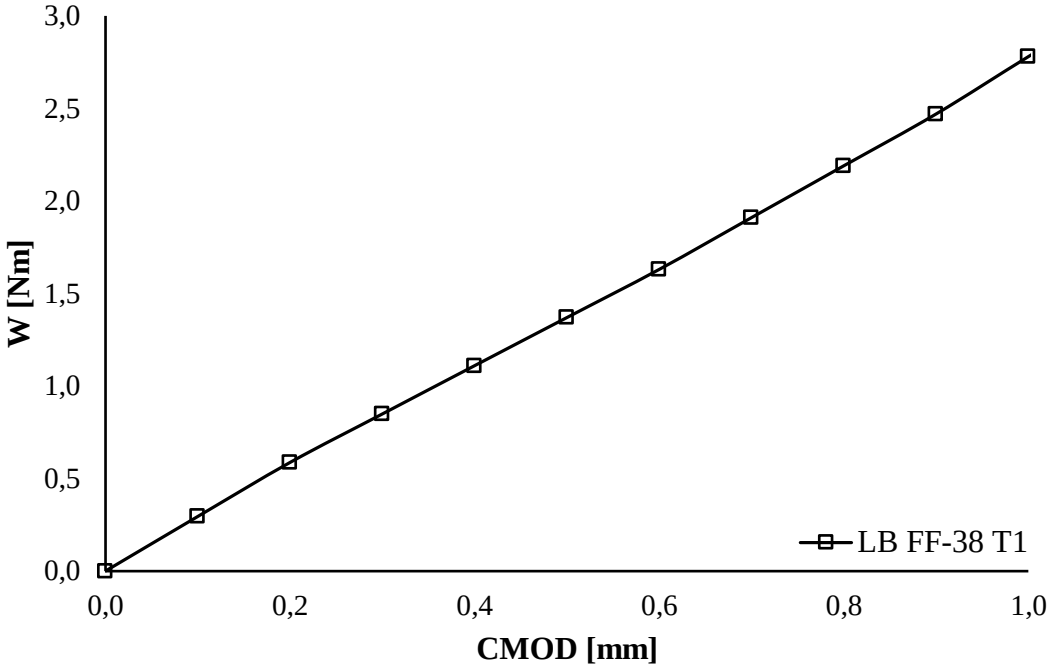


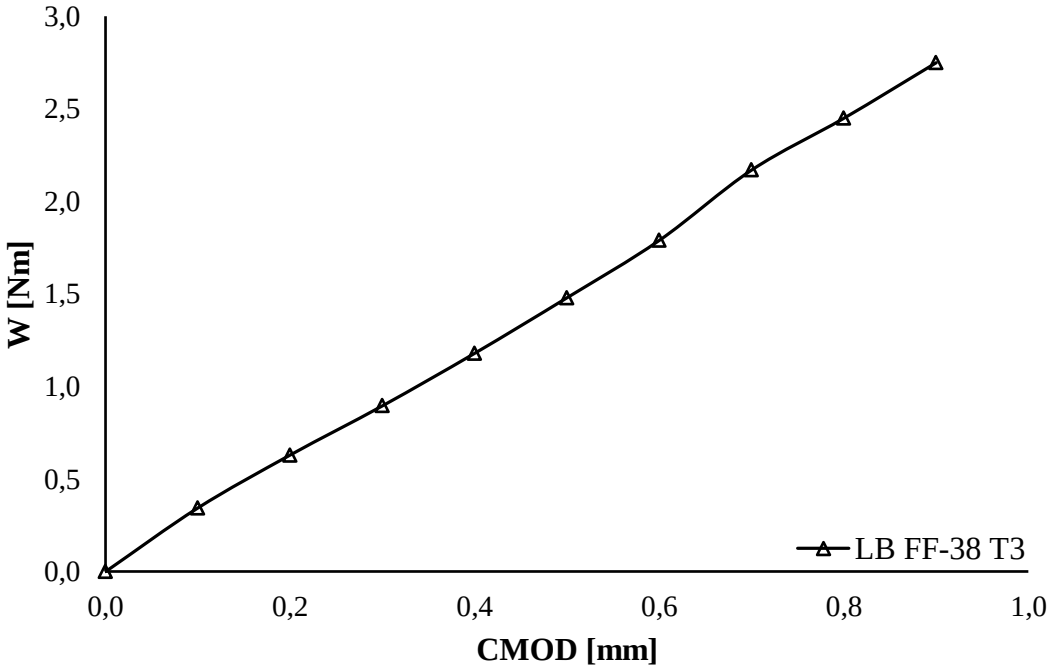


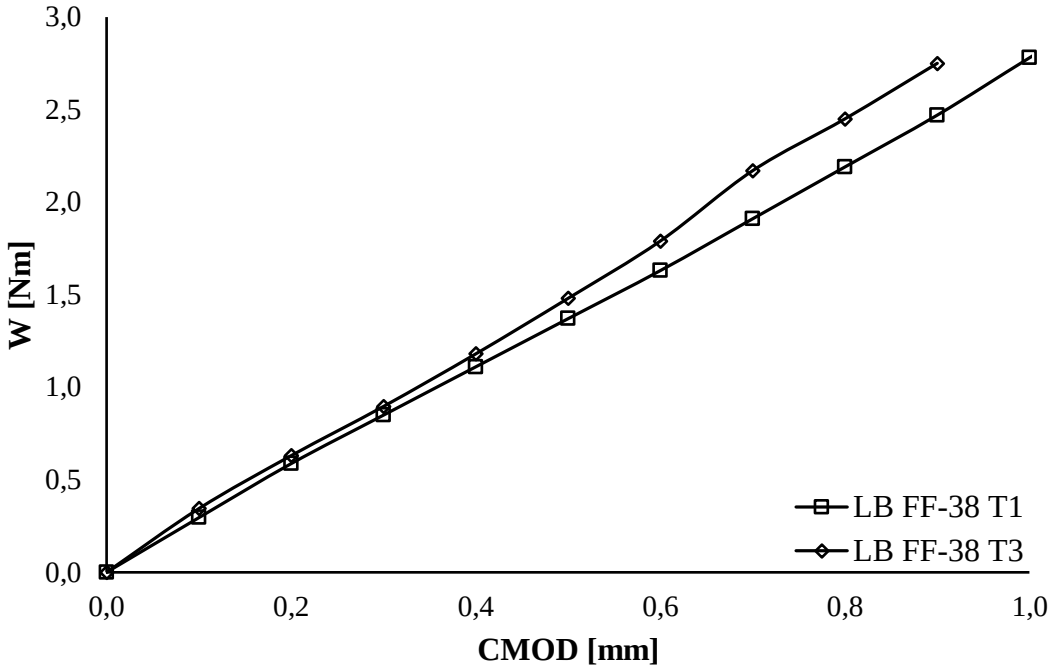

0,16
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
W [Nm]
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
CMOD [mm]
LB REF T5


0,16
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
W [Nm]
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
CMOD [mm]
LB REF T1
LB REF T3
LB REF T5

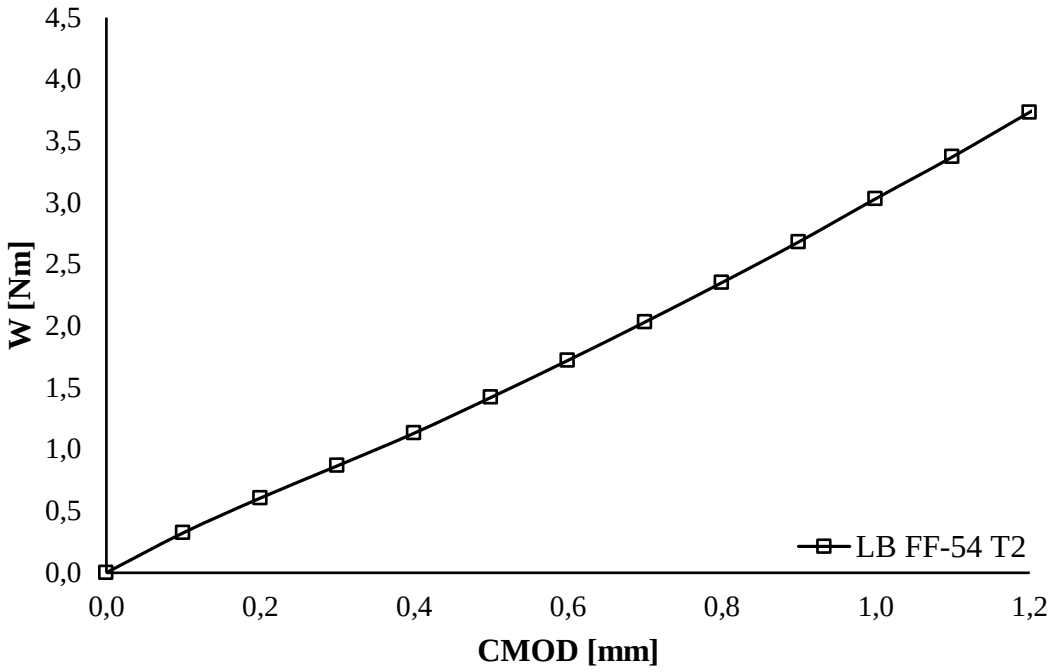
LB FF-38

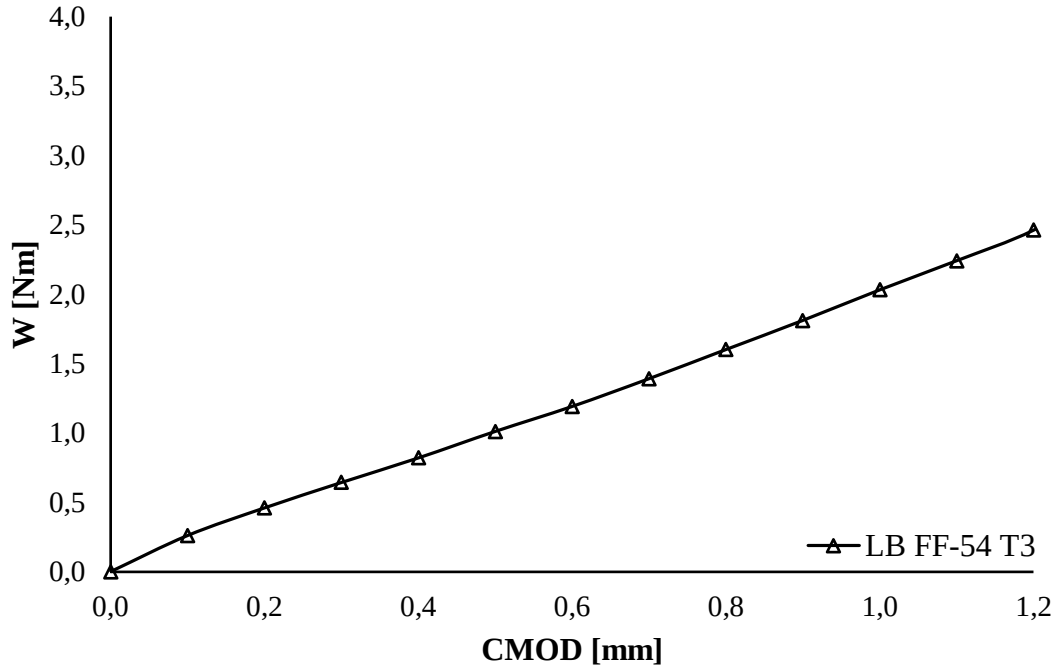

3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
CMOD [mm]
LB FF-38 T1

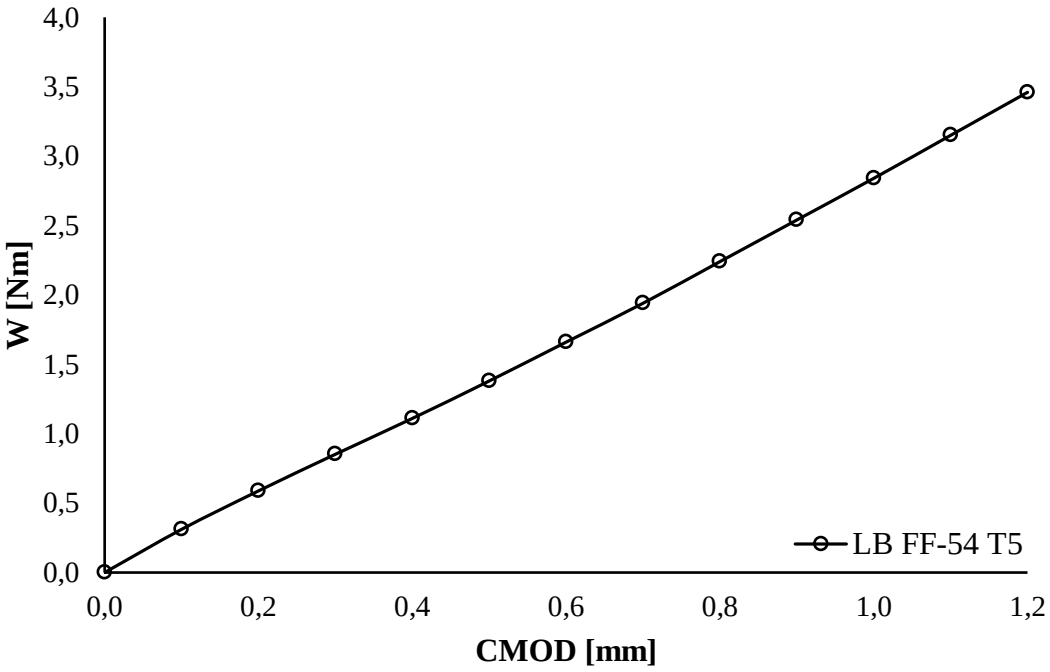

3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
CMOD [mm]
LB FF-38 T3

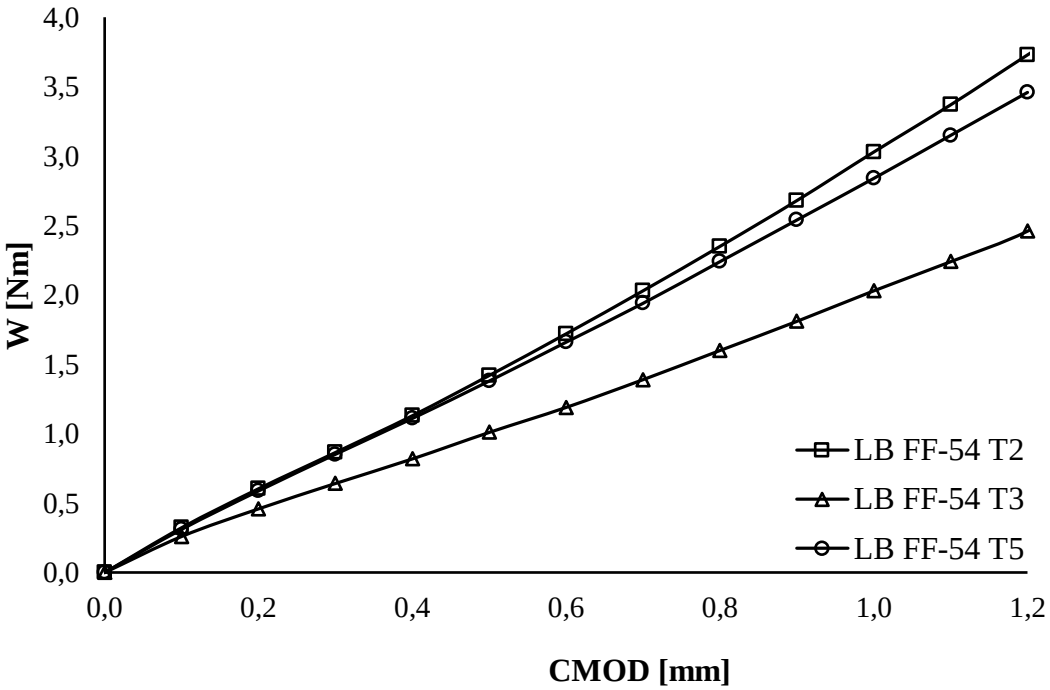

3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
CMOD [mm]
LB FF-38 T1
LB FF-38 T3

LB FF-54

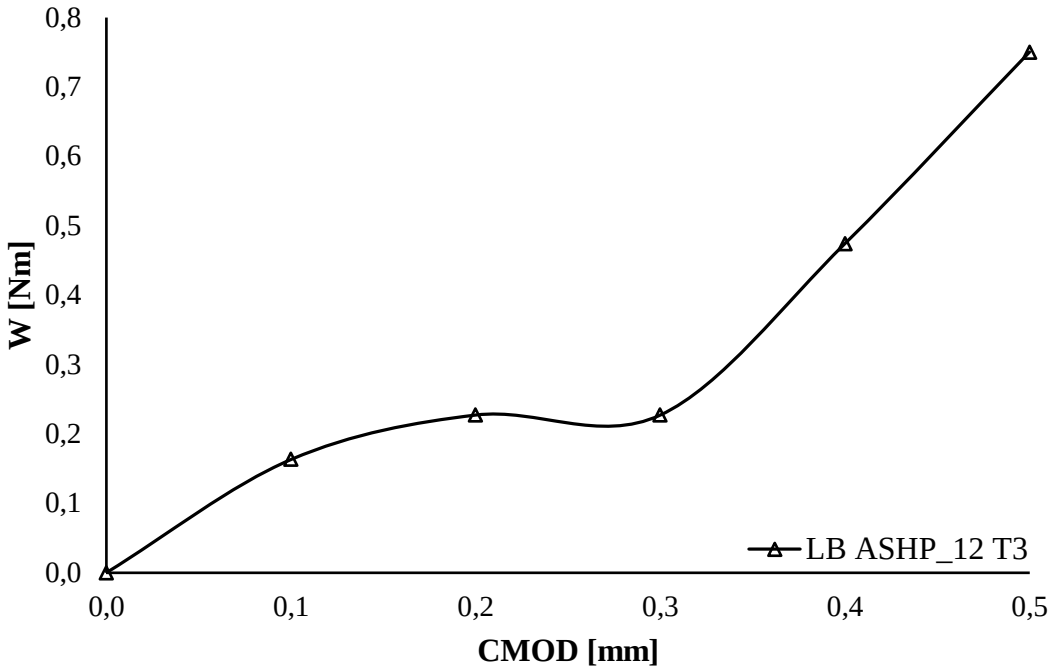

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T2

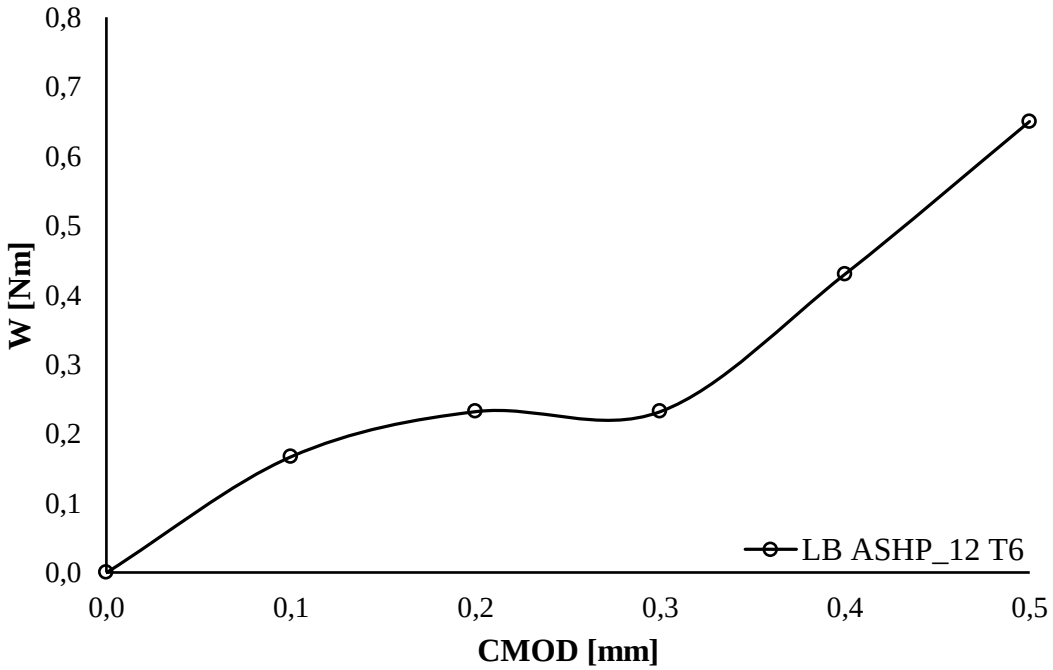

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T3

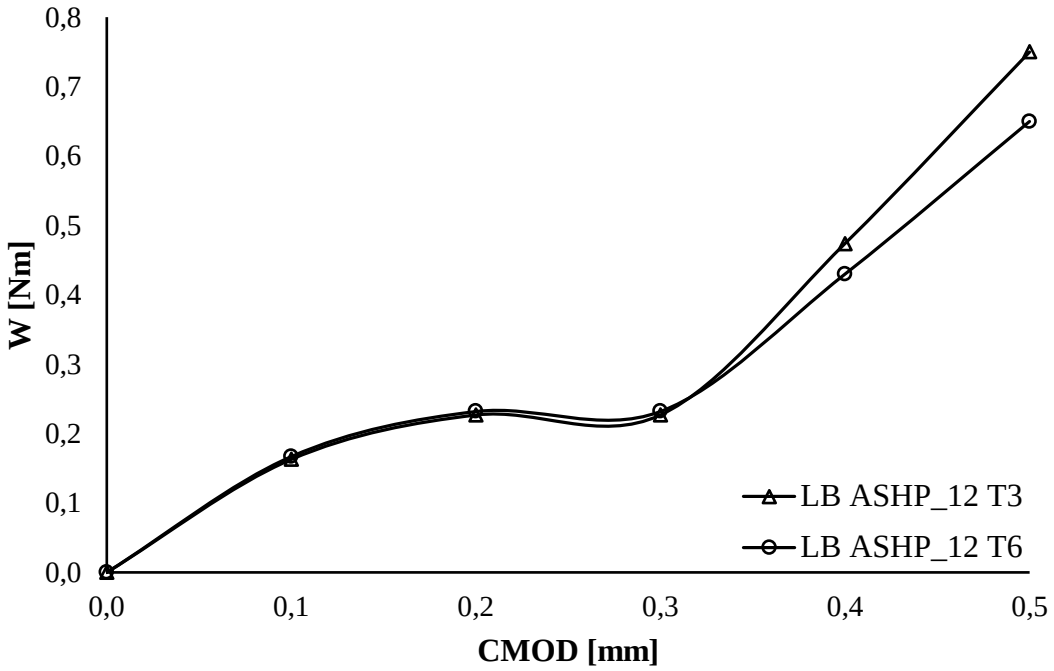

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T5


4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T2
LB FF-54 T3
LB FF-54 T5

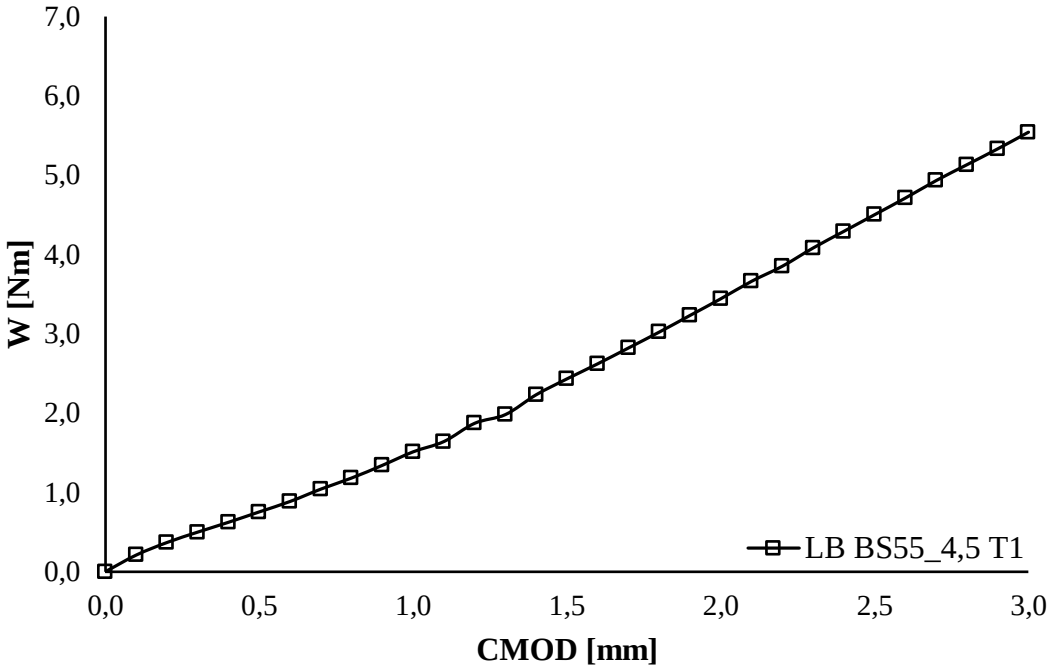
LB ASHP_12

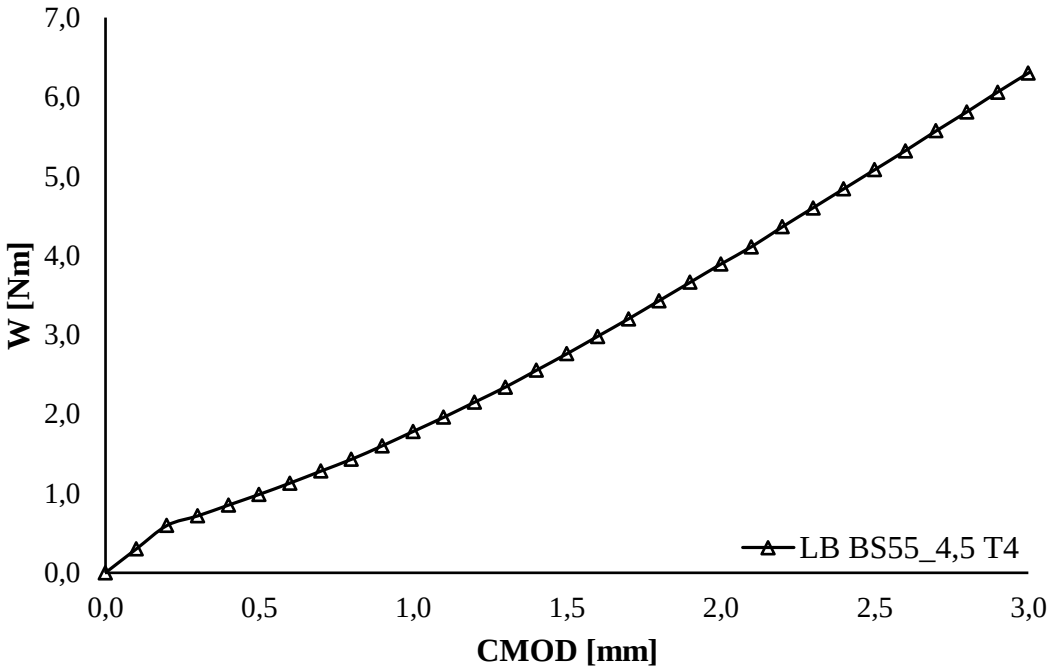

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
CMOD [mm]
LB ASHP_12 T3

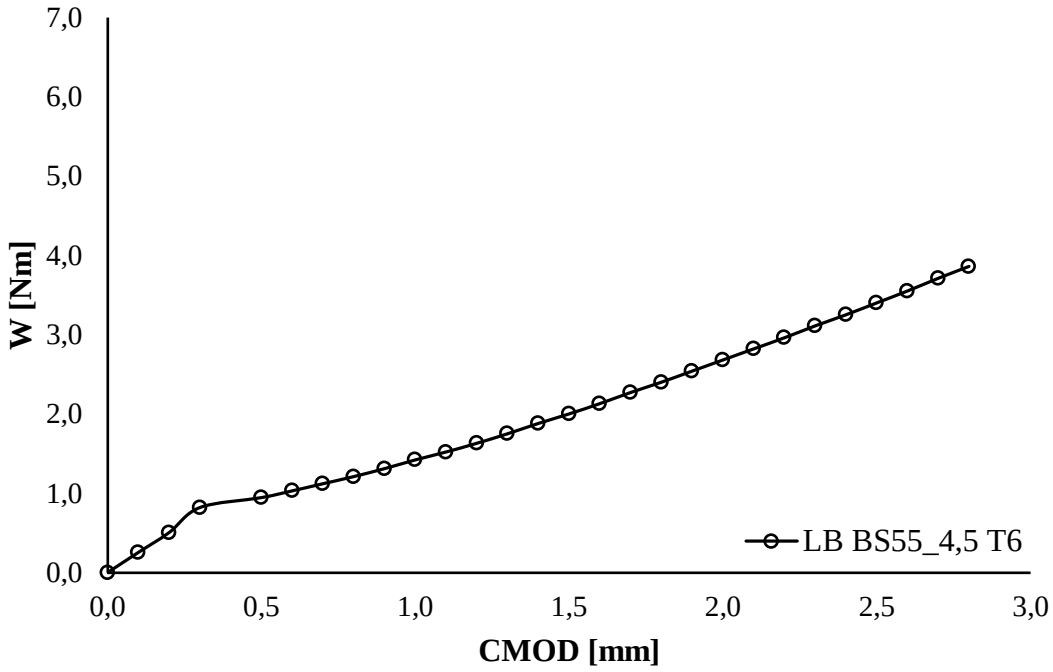

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
CMOD [mm]
LB ASHP_12 T6

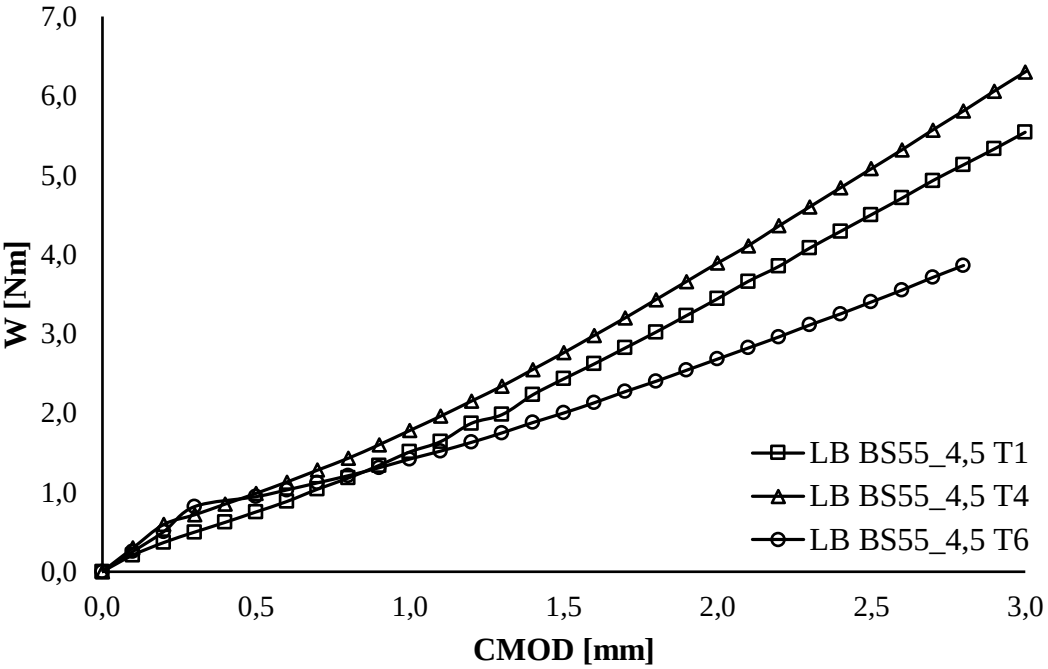

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
CMOD [mm]
LB ASHP_12 T3
LB ASHP_12 T6

LB BS55_4,5

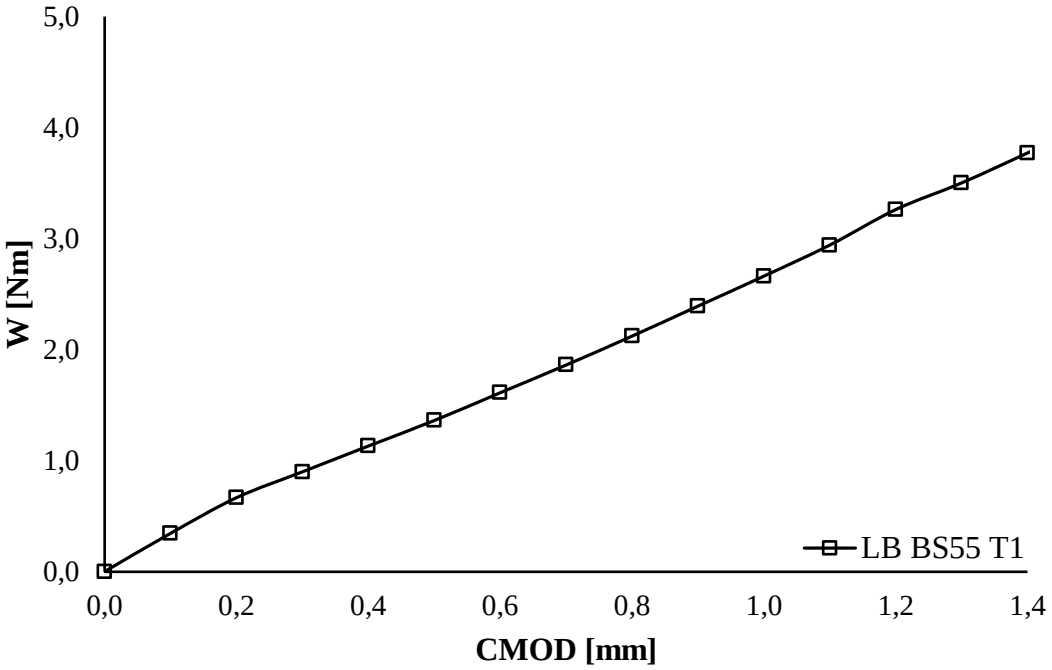

7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T1

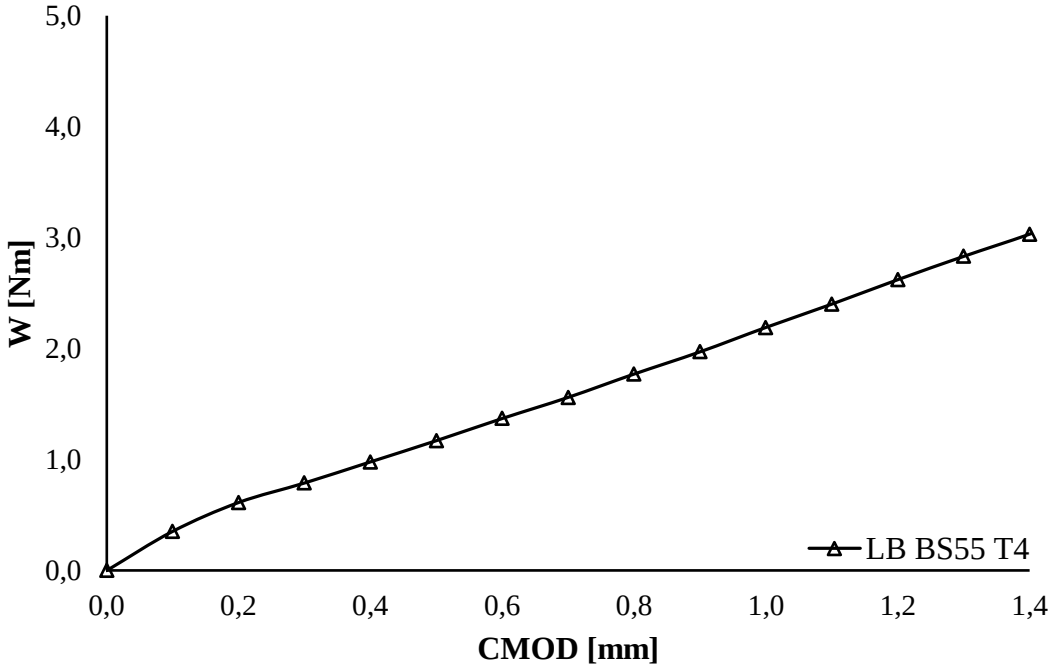

7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T4

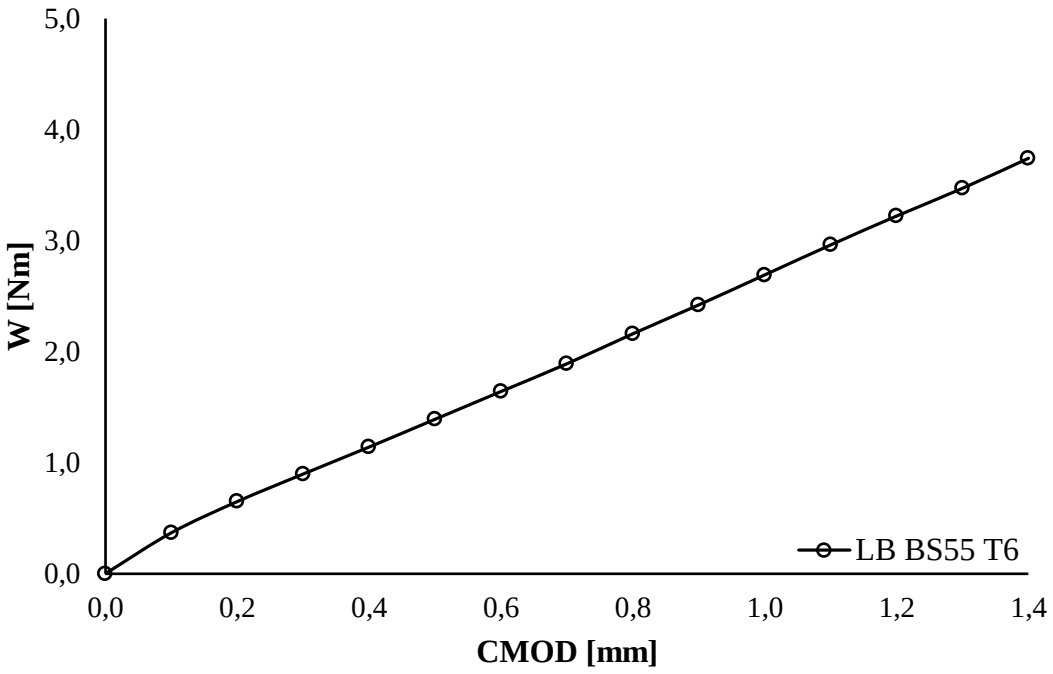

7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T6

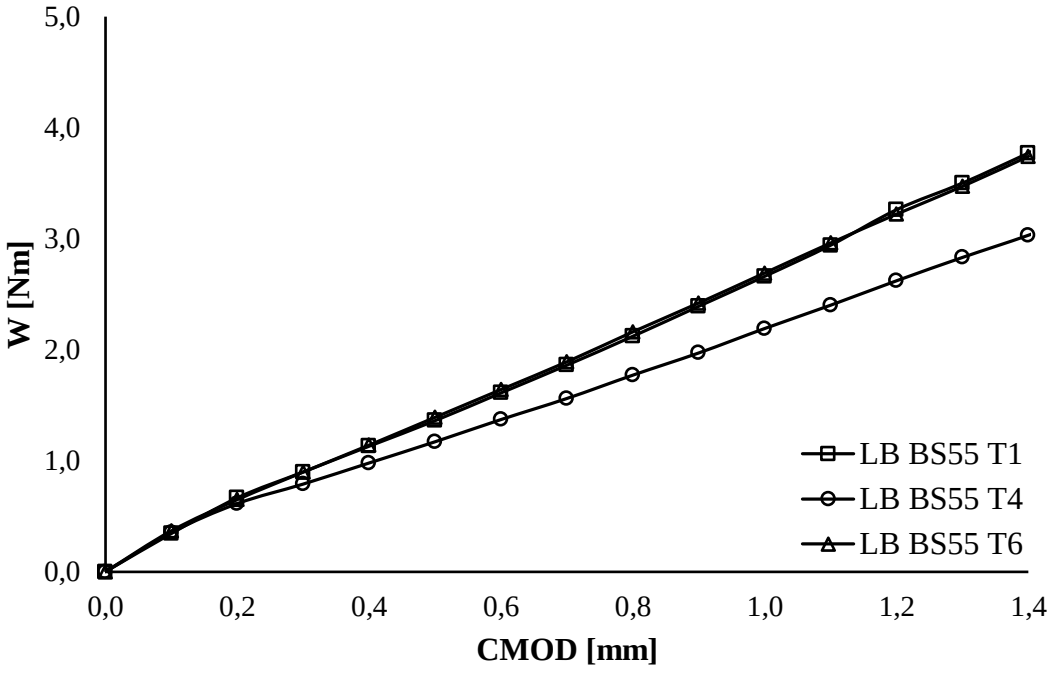

7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T1
LB BS55_4,5 T4
LB BS55_4,5 T6

LB BS55


5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T1

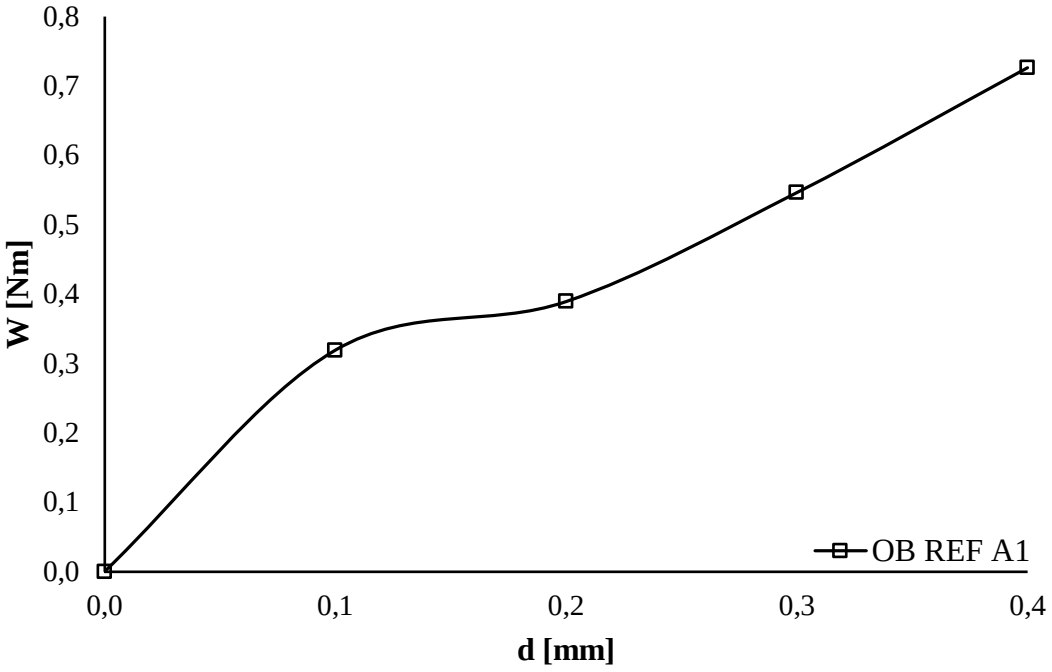

5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T4

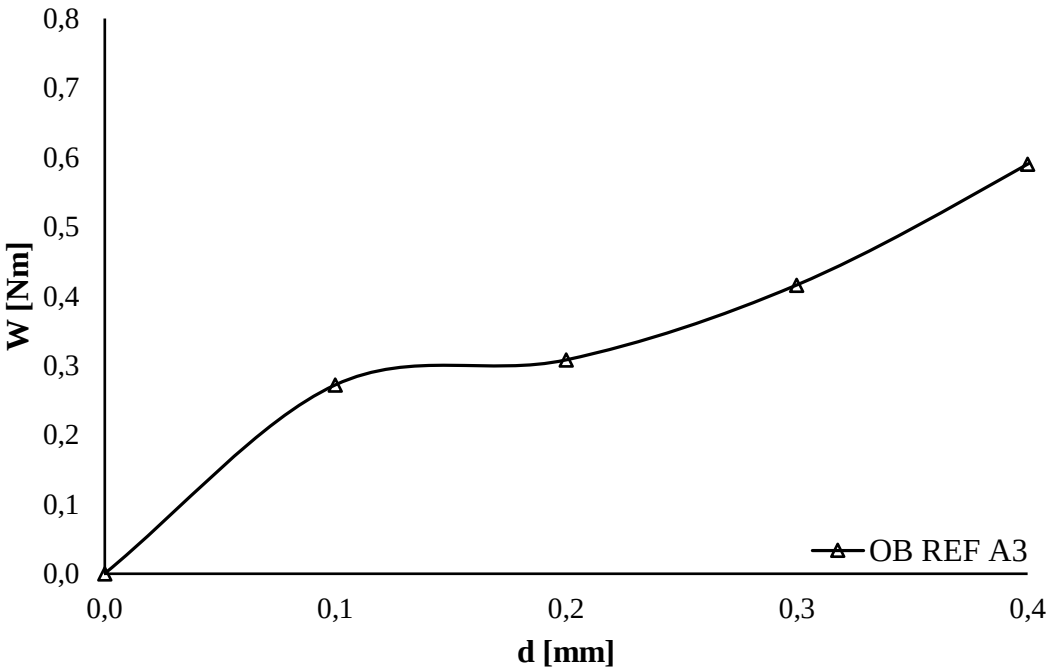

5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T6


5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T1
LB BS55 T4
LB BS55 T6

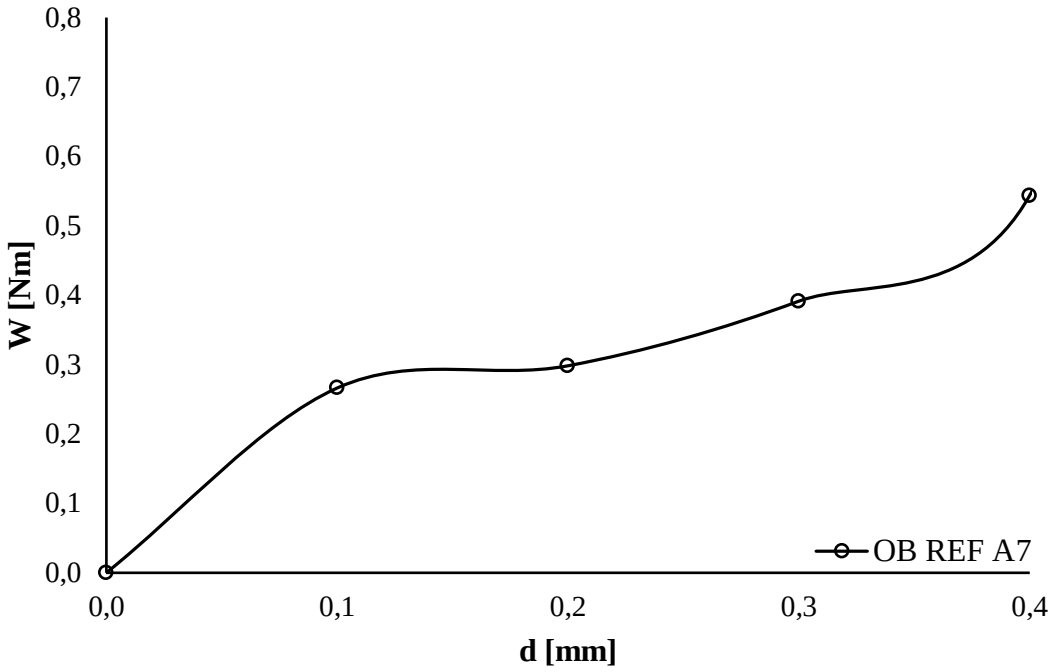
P5.3 Tělesa z obyčejného betonu – d

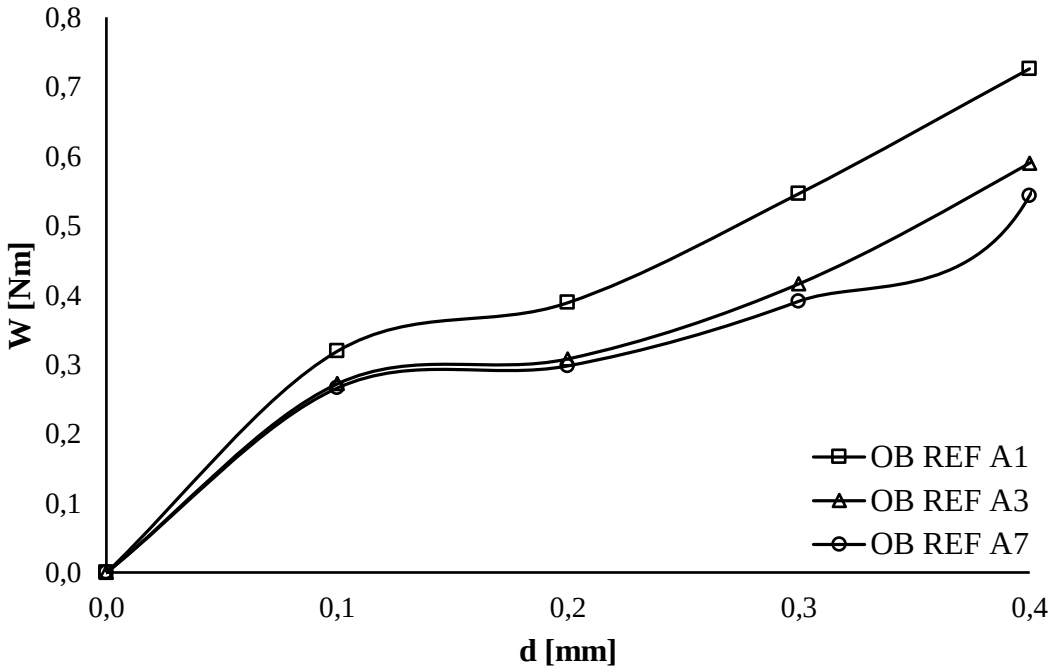
OB REF

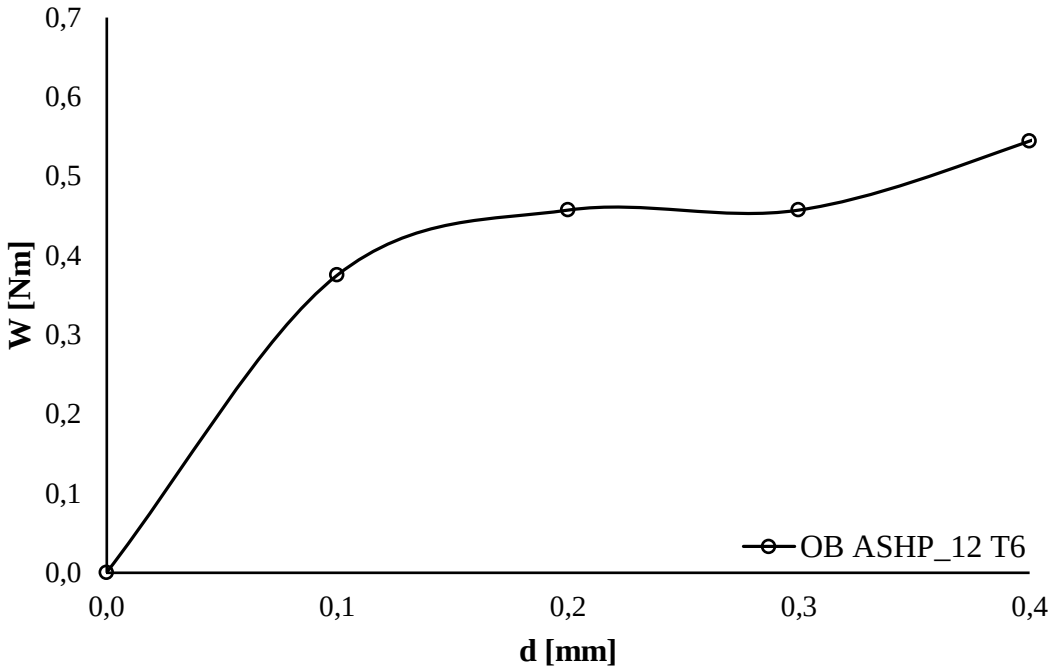


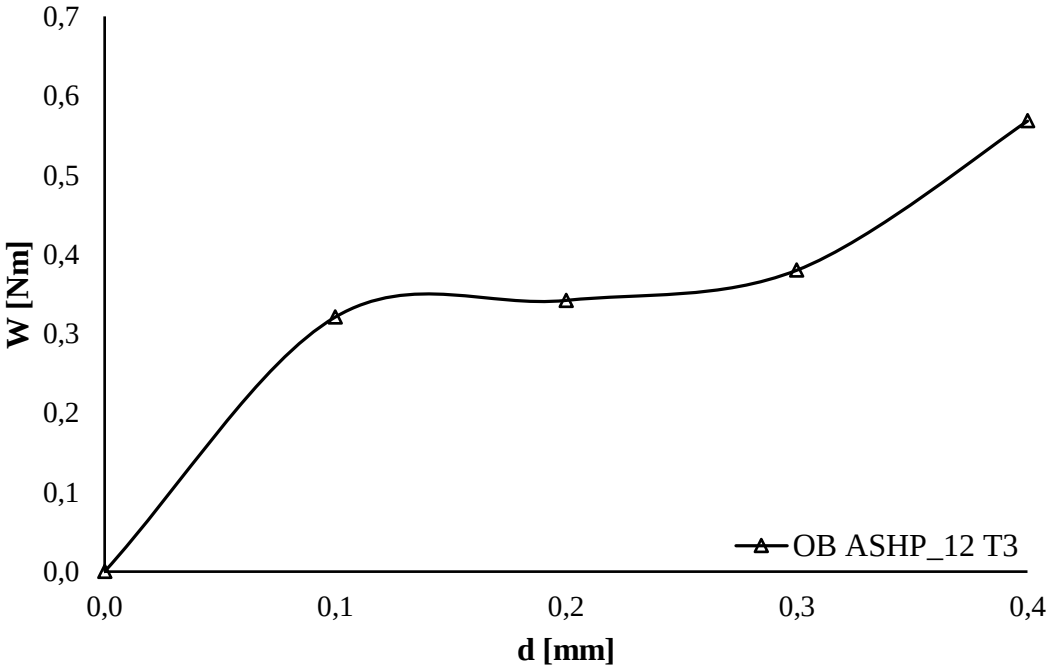


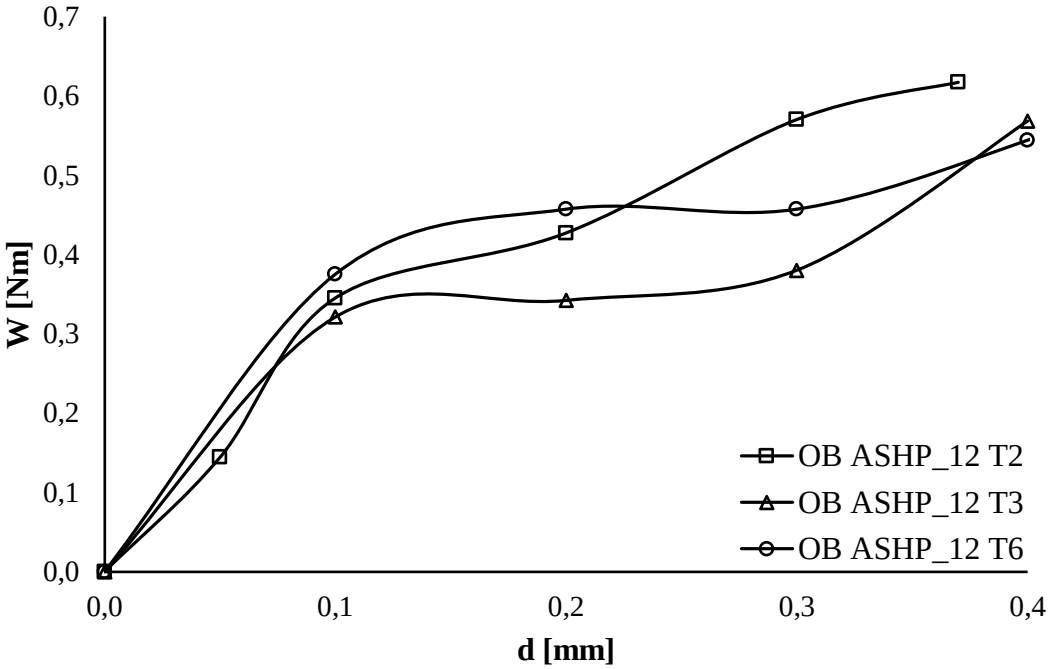
OB ASHP_12


0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB REF A7

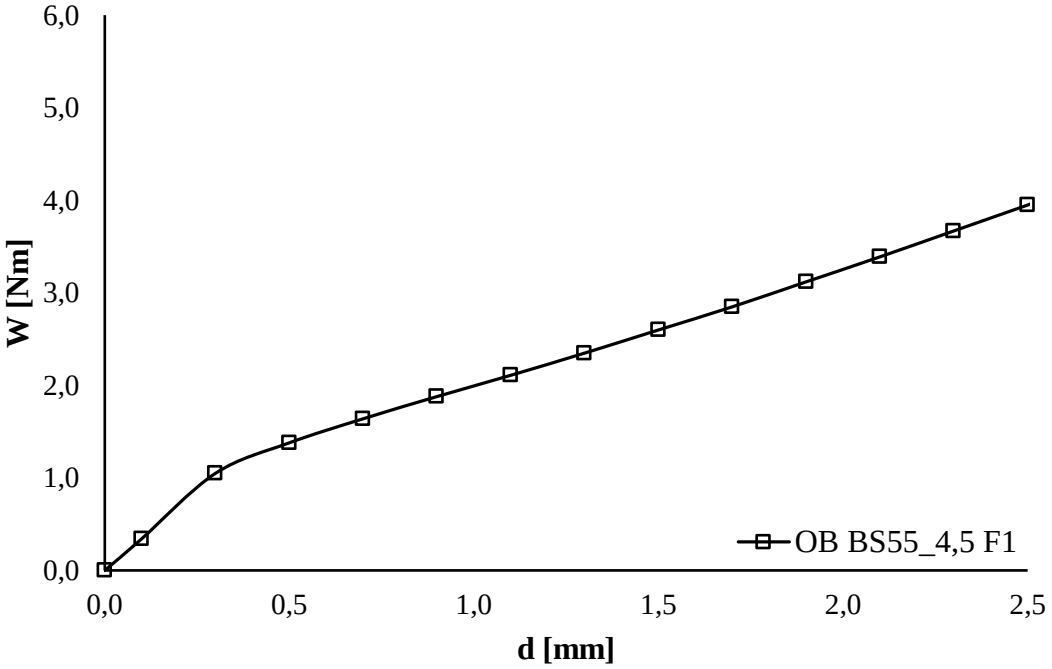

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB REF A1
OB REF A3
OB REF A7

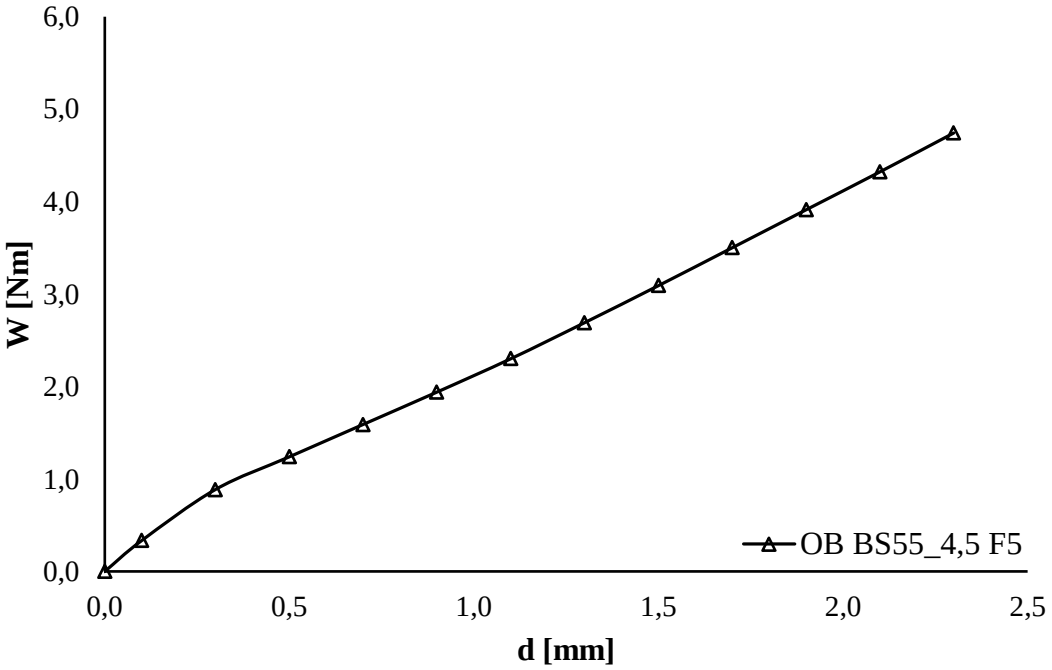

0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB ASHP_12 T6

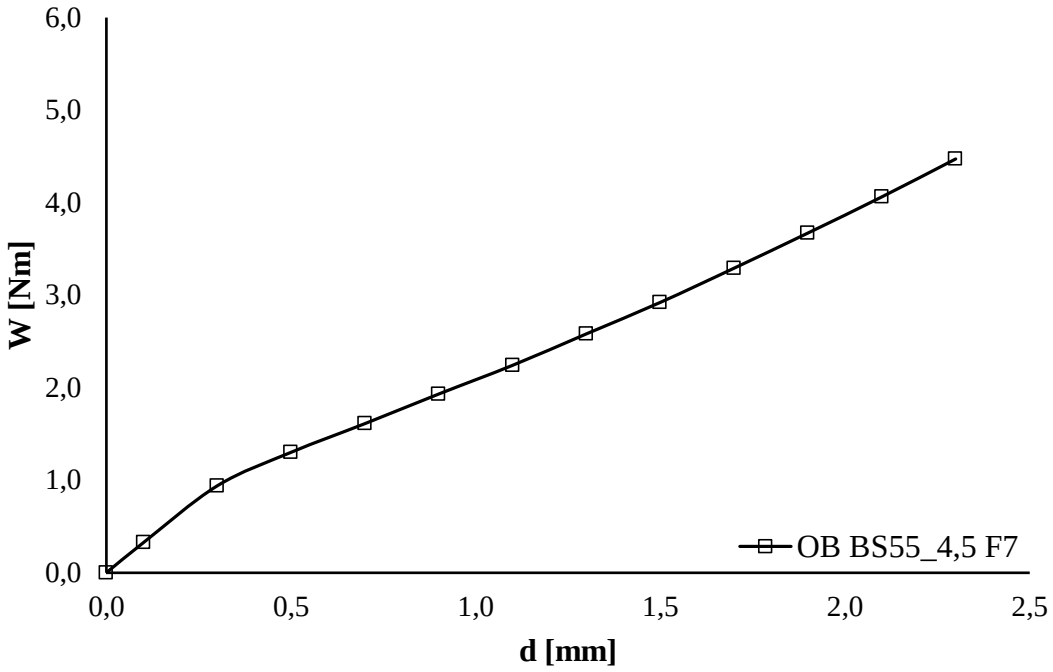

0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB ASHP_12 T3

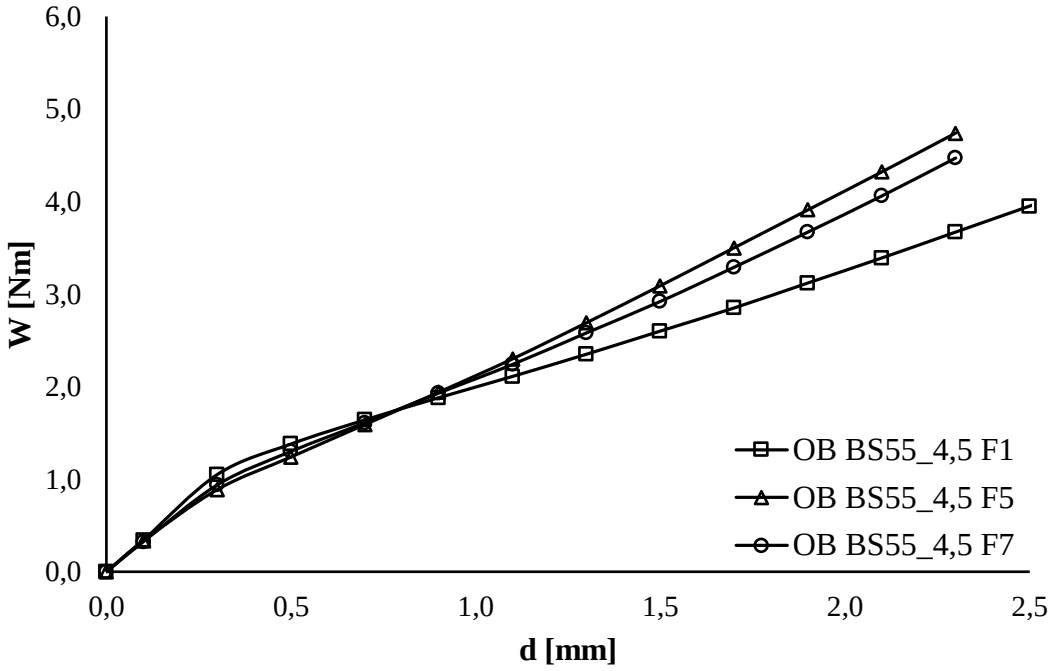

0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB ASHP_12 T2
OB ASHP_12 T3
OB ASHP_12 T6

OB BS55_4,5

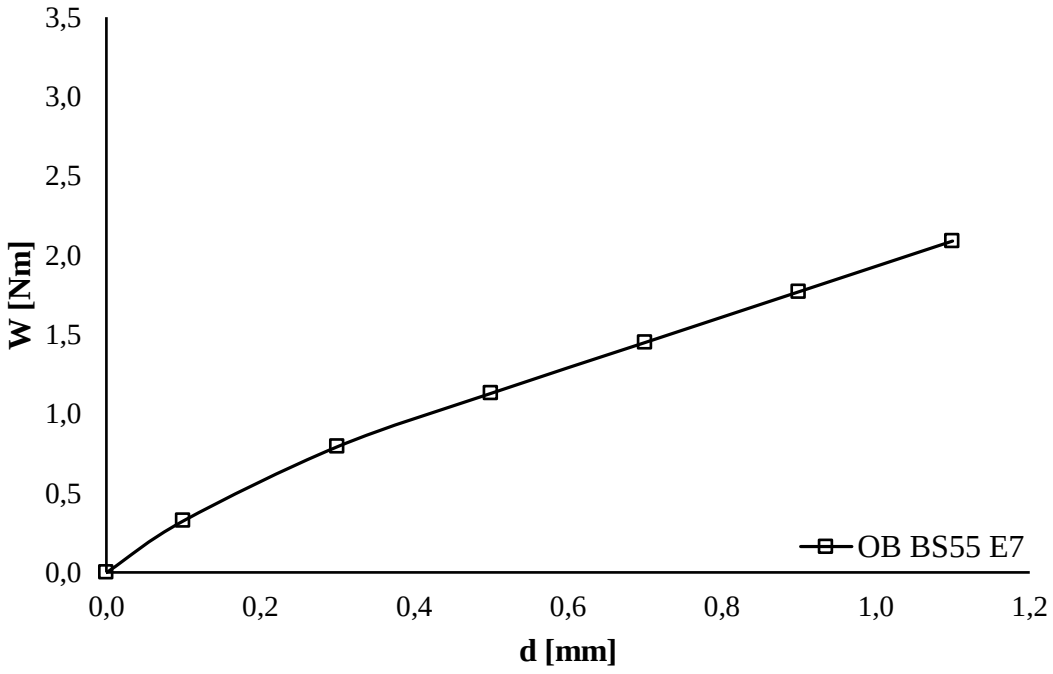

6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F1

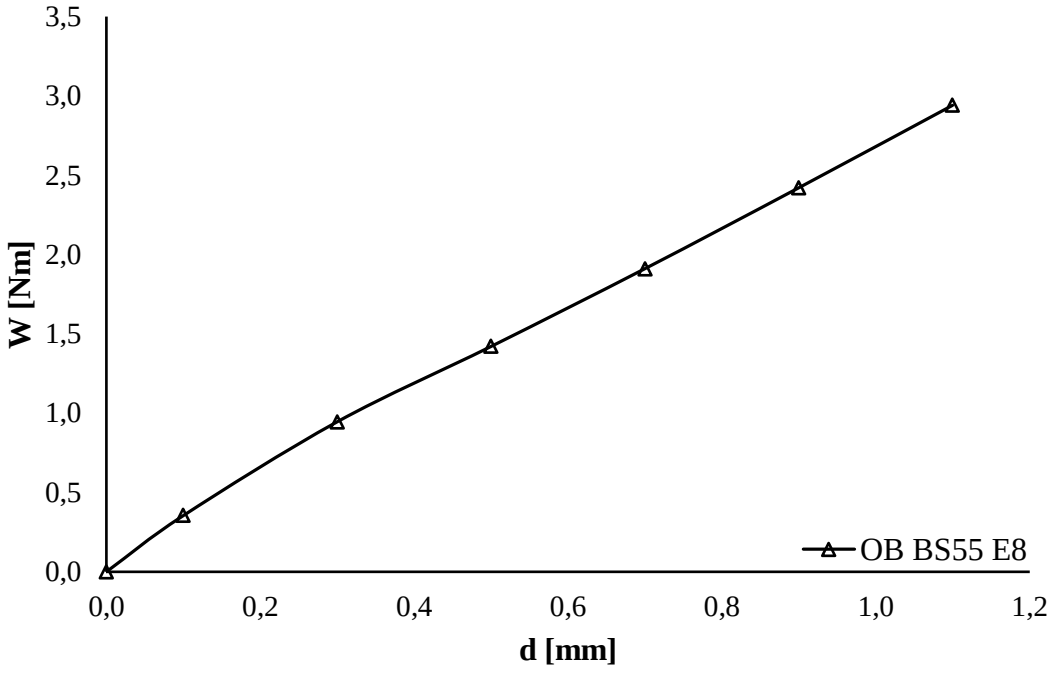

6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F5

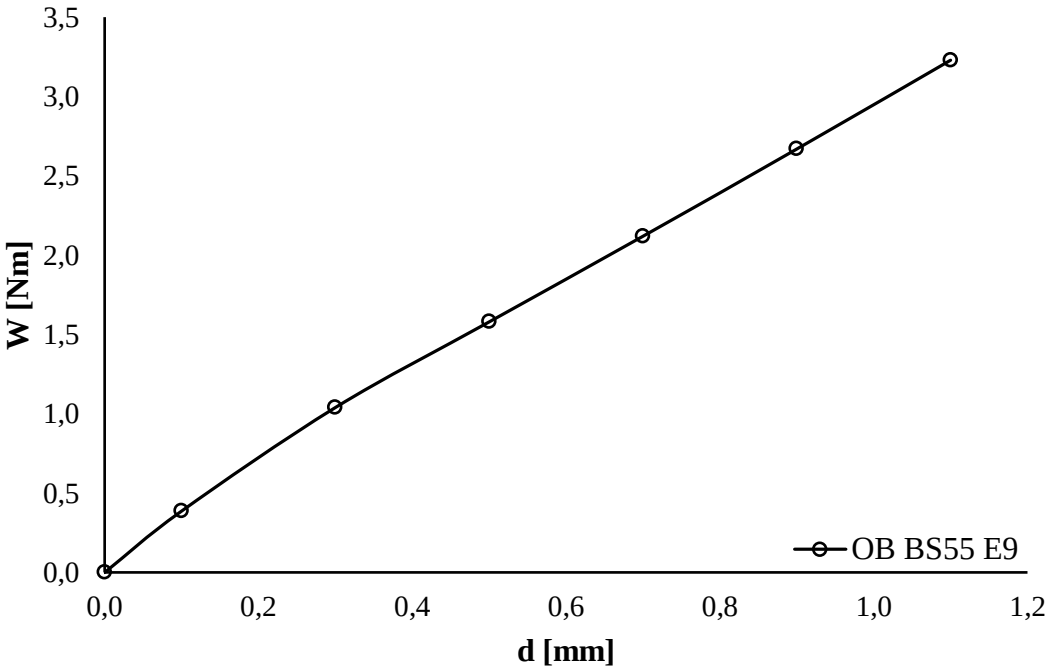

6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F7

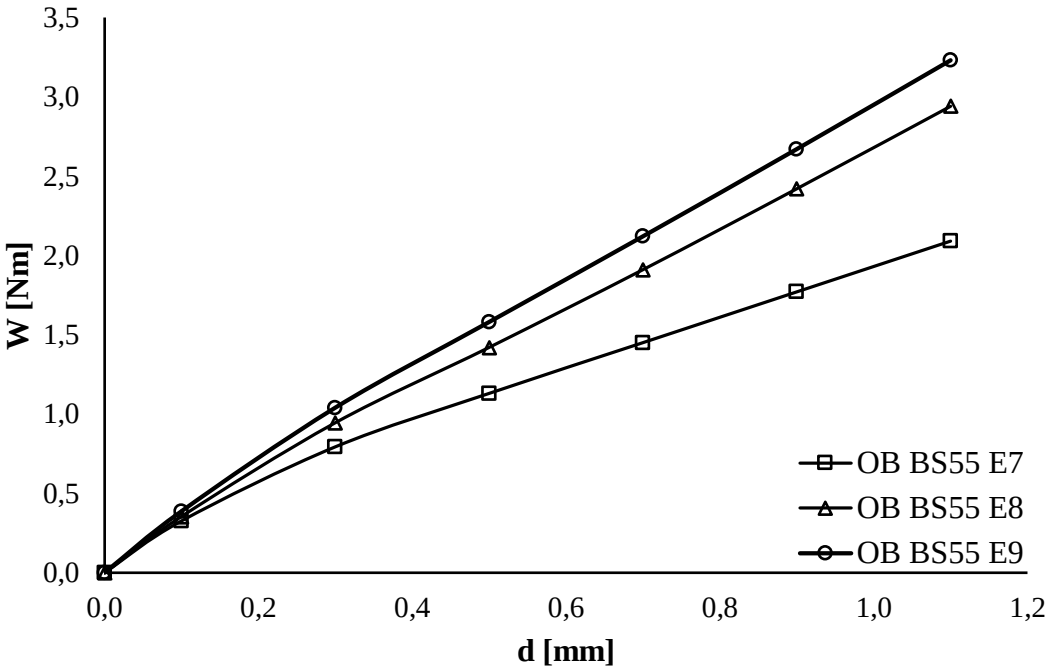

6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F1
OB BS55_4,5 F5
OB BS55_4,5 F7

OB BS55


3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E7

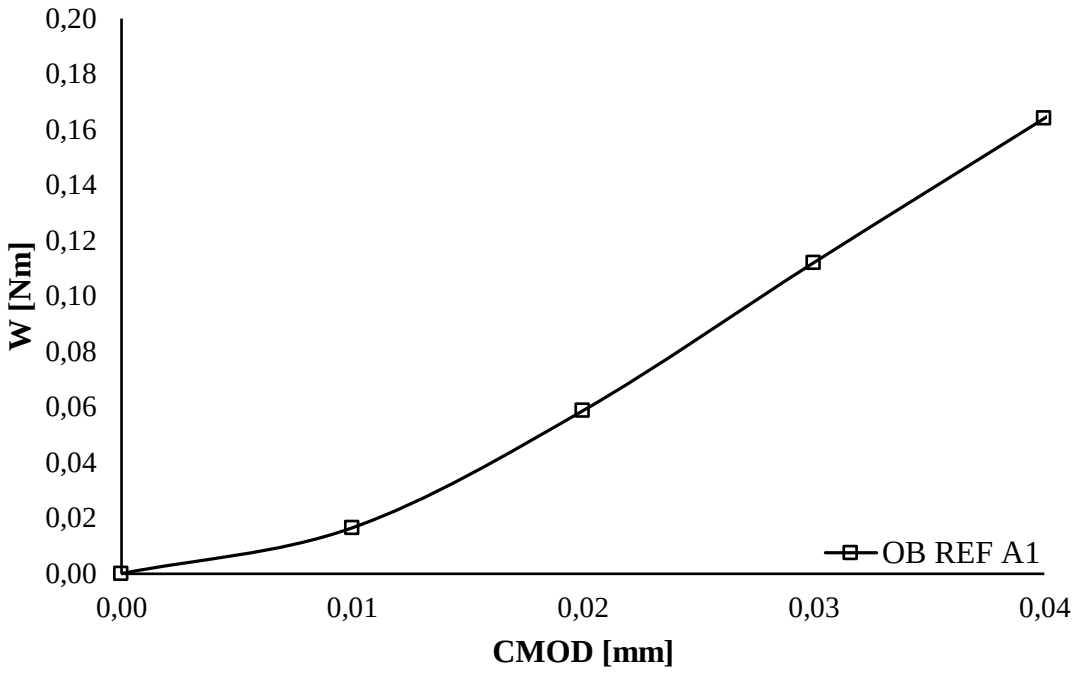

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E8

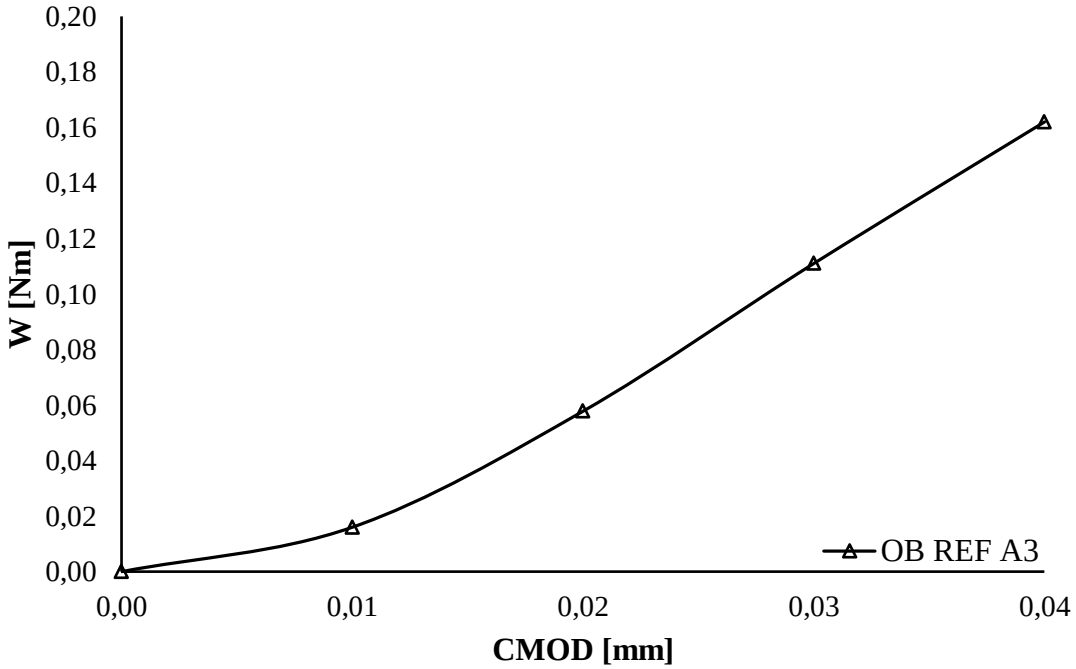

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E9

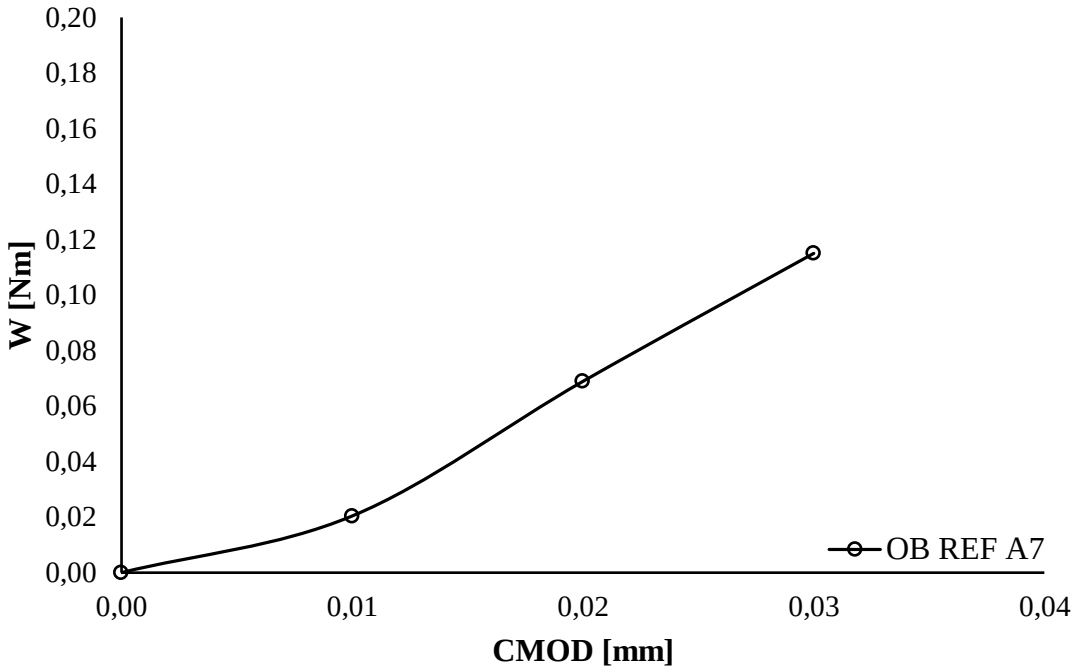

3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E7
OB BS55 E8
OB BS55 E9

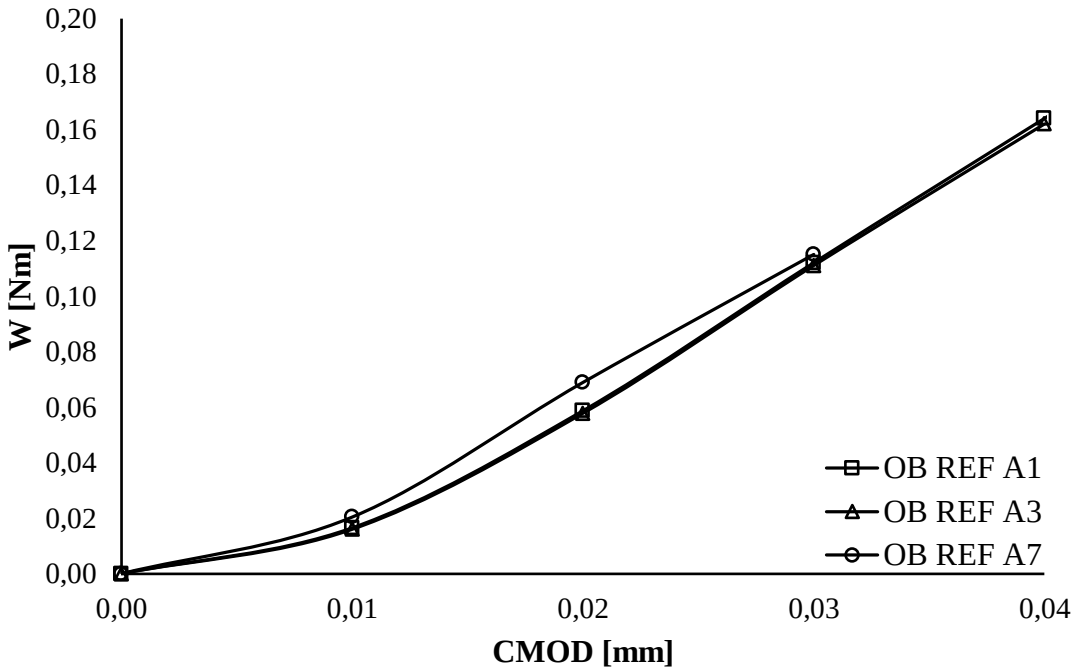
P5.4 Tělesa z obyčejného betonu – $CMOD$

OB REF

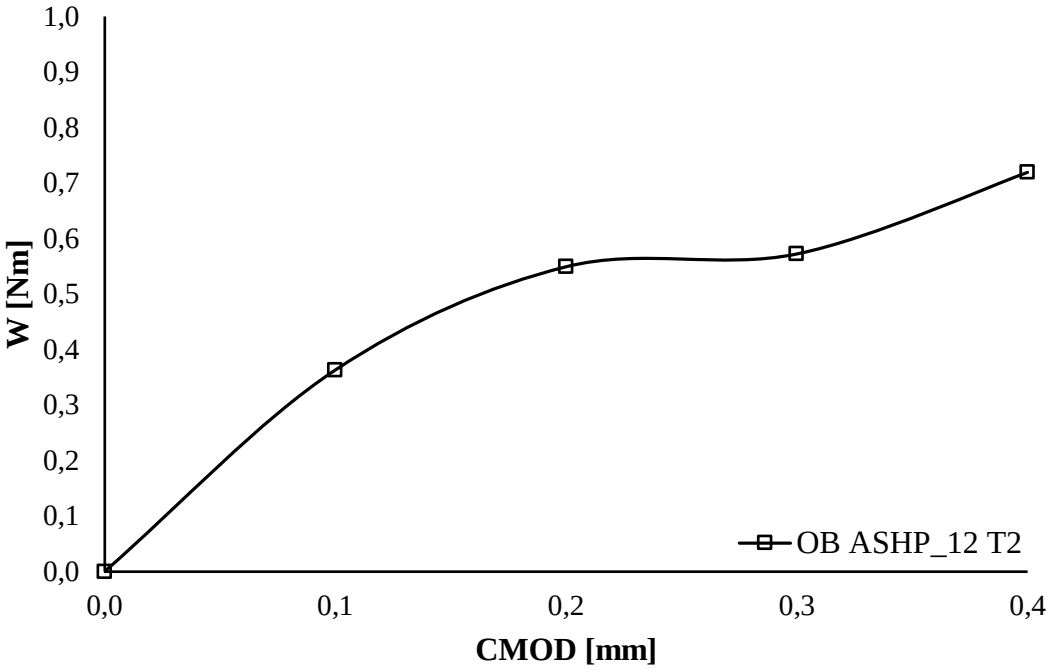


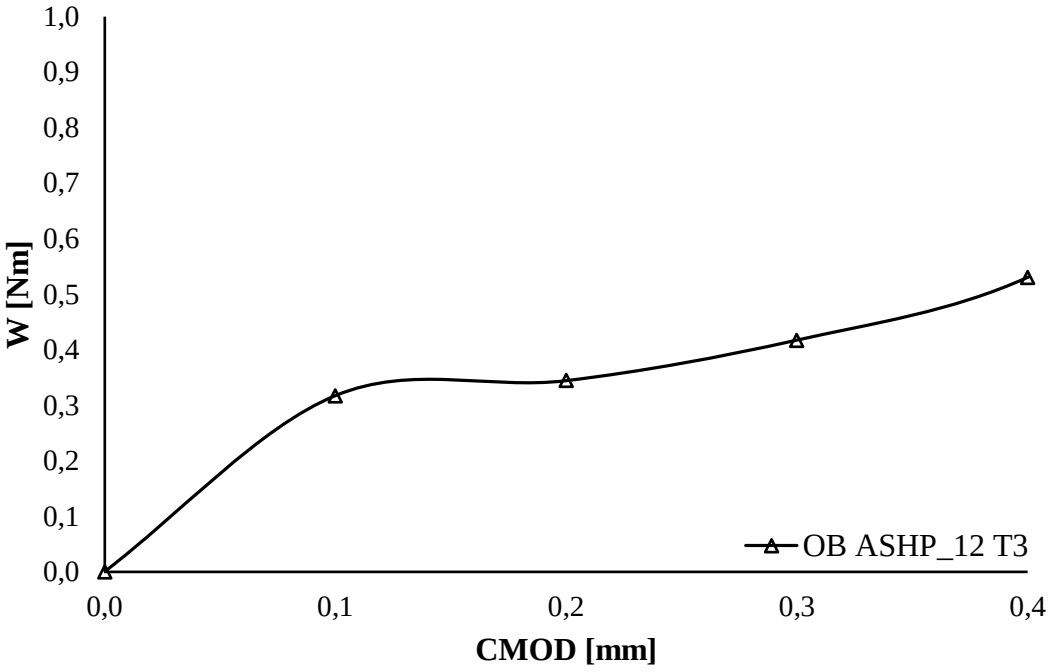


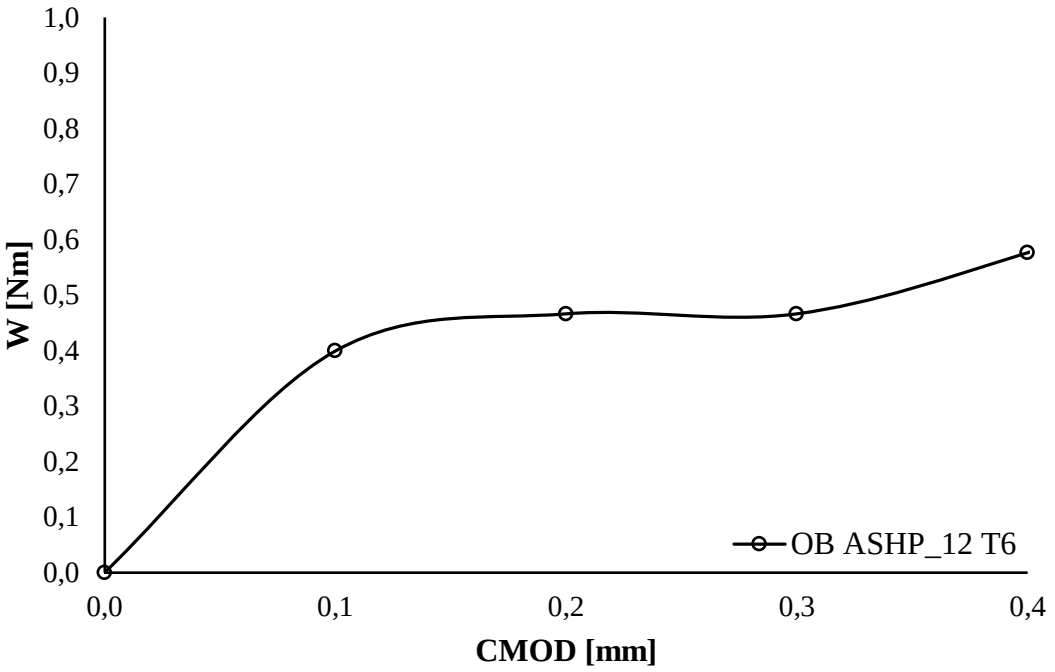

0,20
0,18
0,16
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
W [Nm]
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
CMOD [mm]
OB REF A7

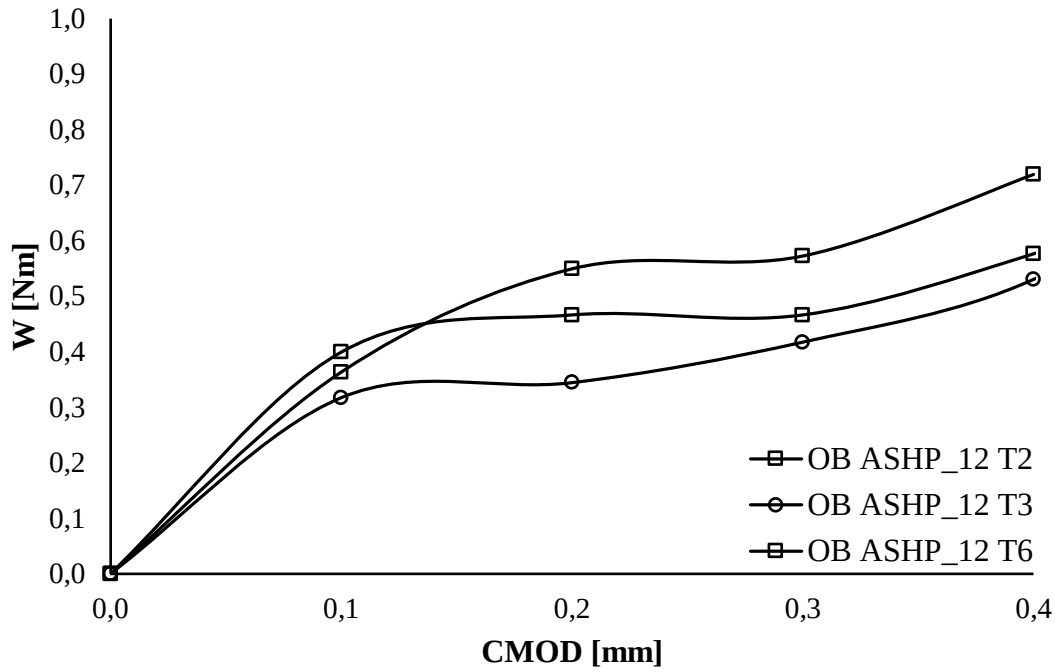

0,20
0,18
0,16
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
W [Nm]
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
CMOD [mm]
OB REF A1
OB REF A3
OB REF A7

OB ASHP_12

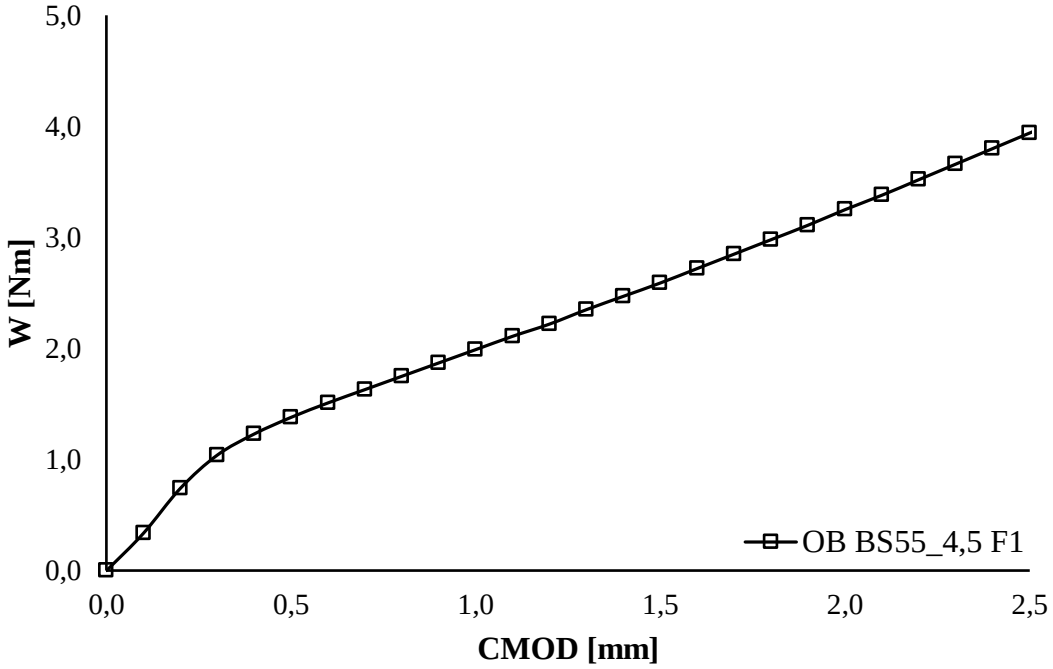

1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T2

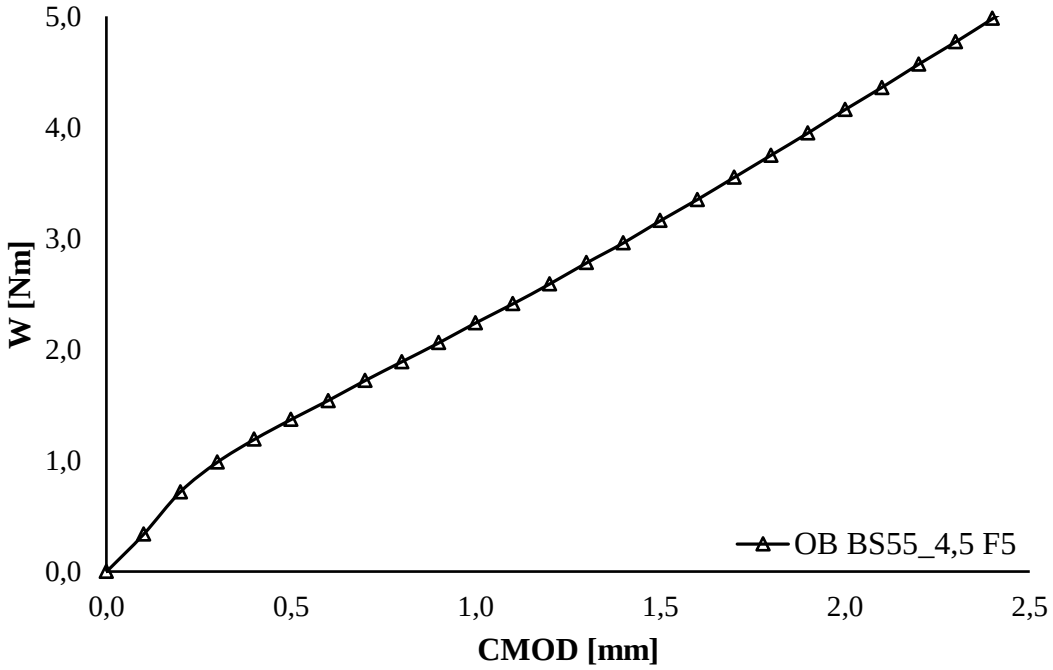

1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T3

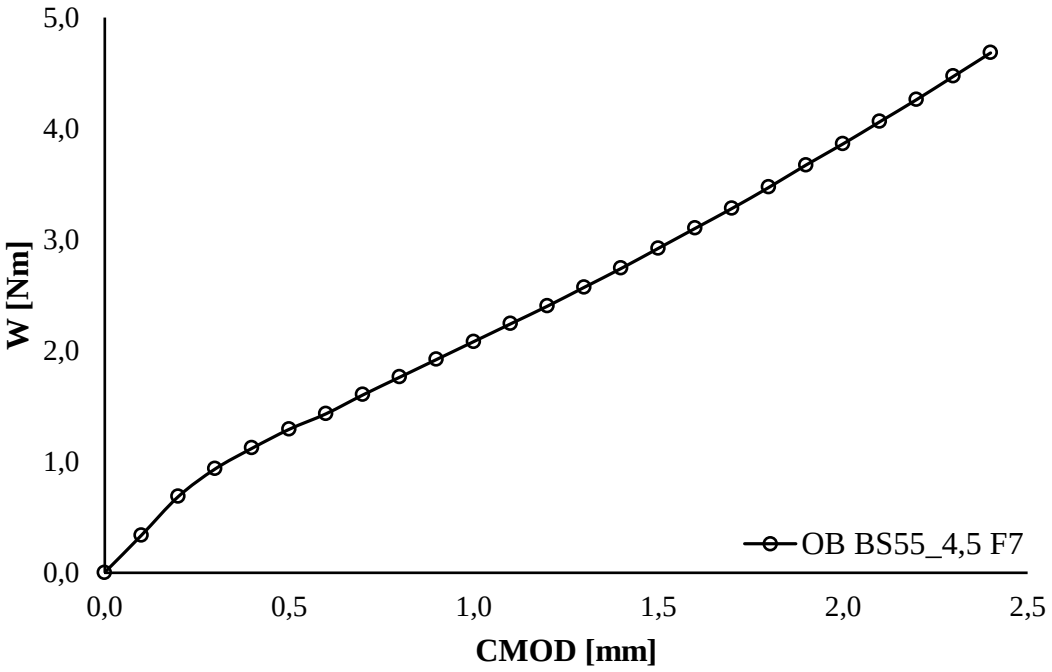

1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T6

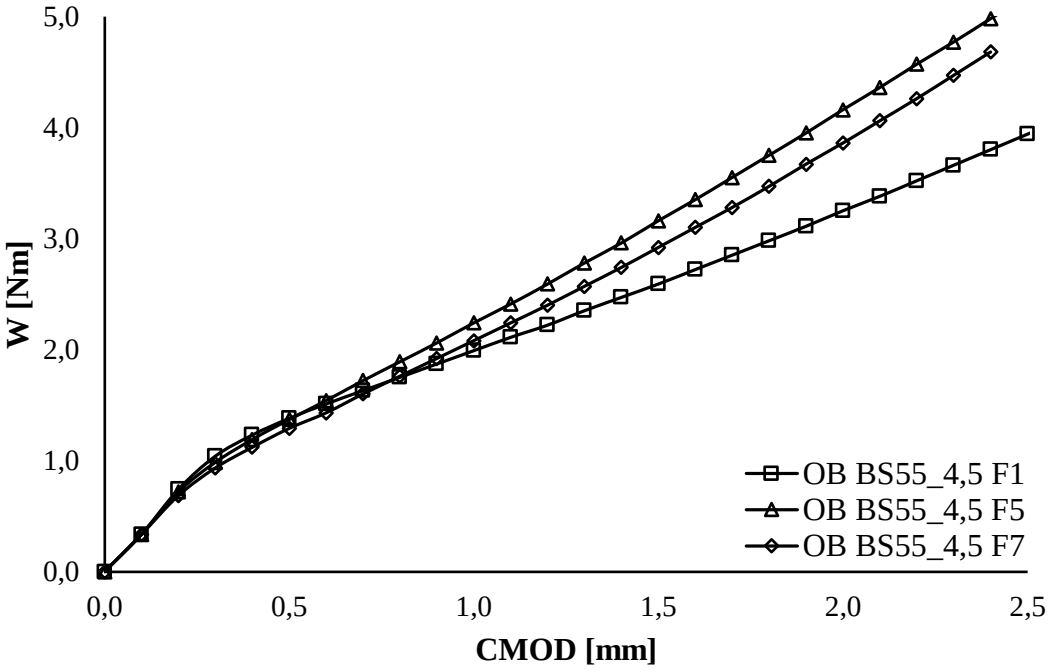

1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T2
OB ASHP_12 T3
OB ASHP_12 T6

OB BS55_4,5

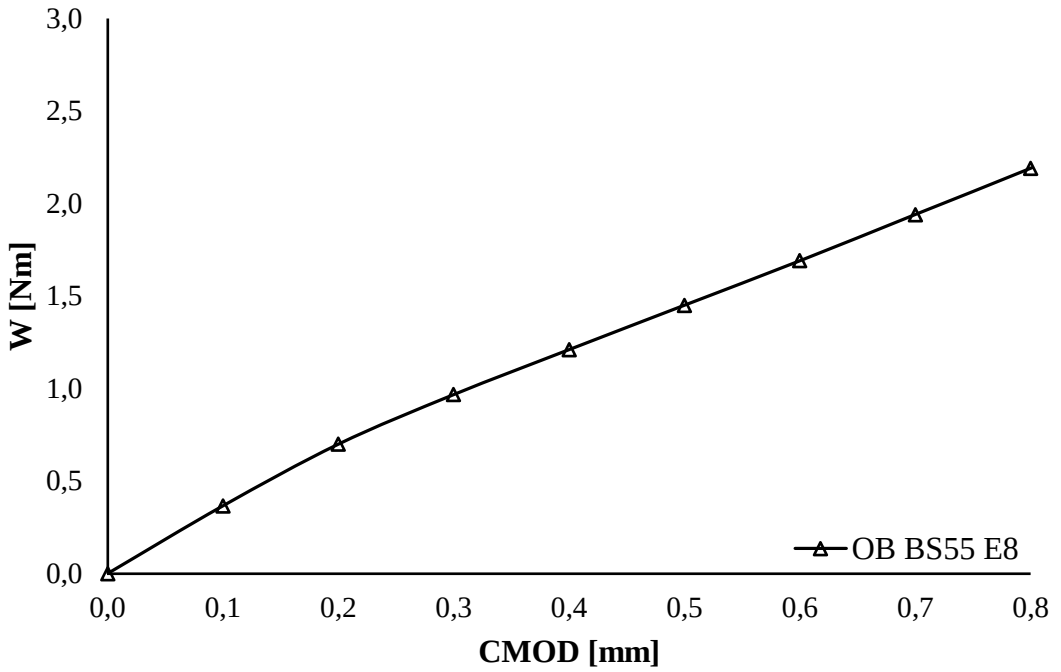

5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F1

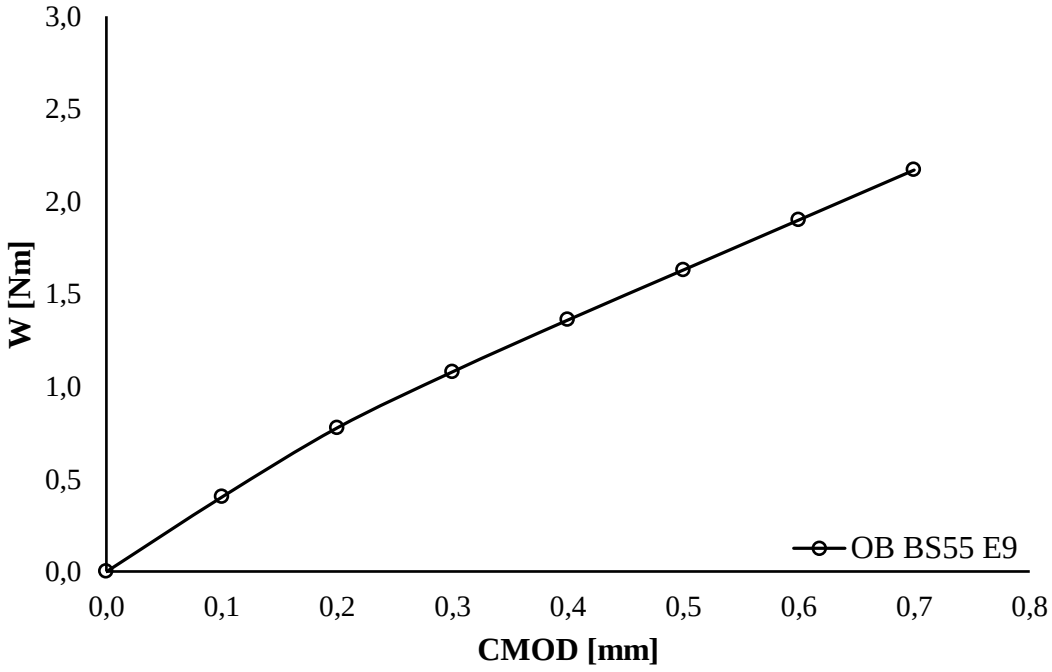

5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F5

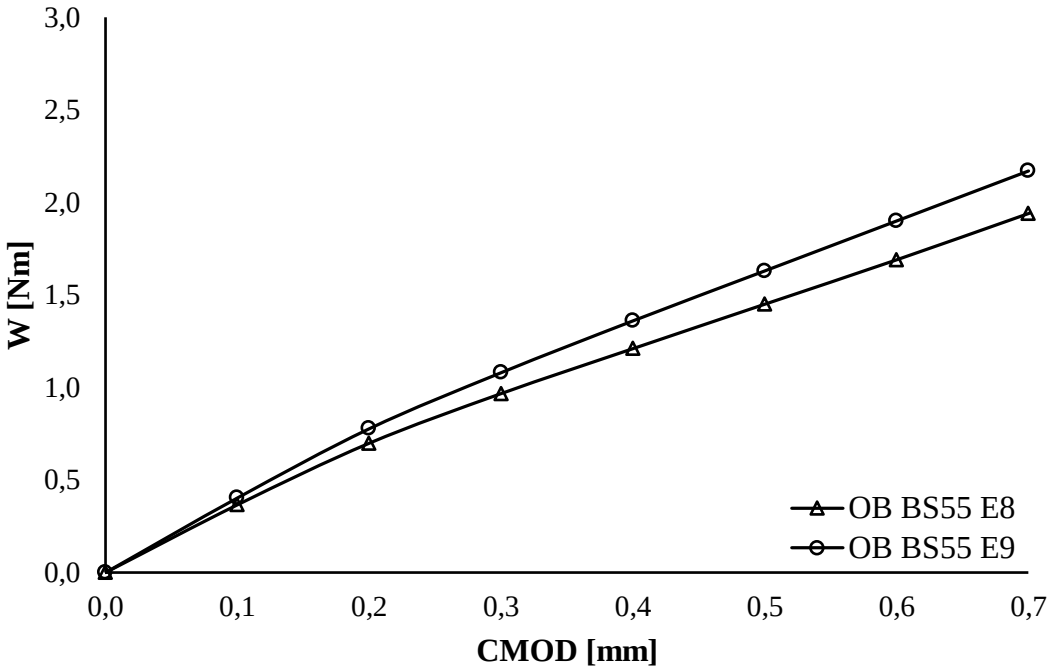

5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F7


5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
W [Nm]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F1
OB BS55_4,5 F5
OB BS55_4,5 F7

OB BS55


3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
CMOD [mm]
OB BS55 E8

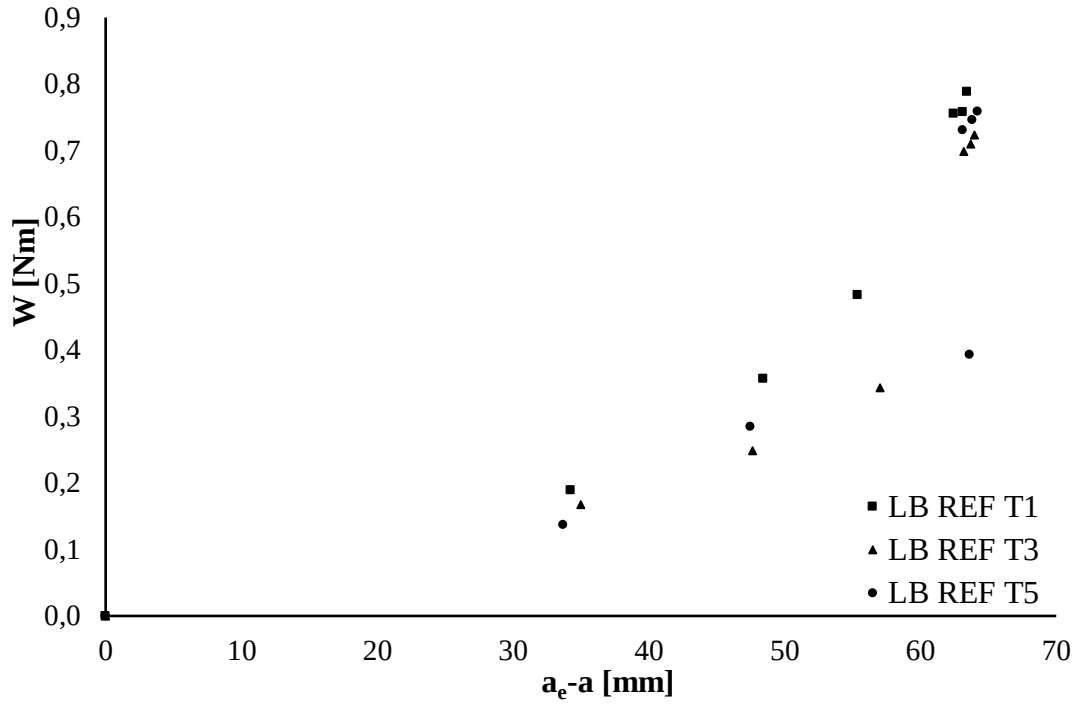

3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
CMOD [mm]
OB BS55 E9


3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
CMOD [mm]
OB BS55 E8
OB BS55 E9

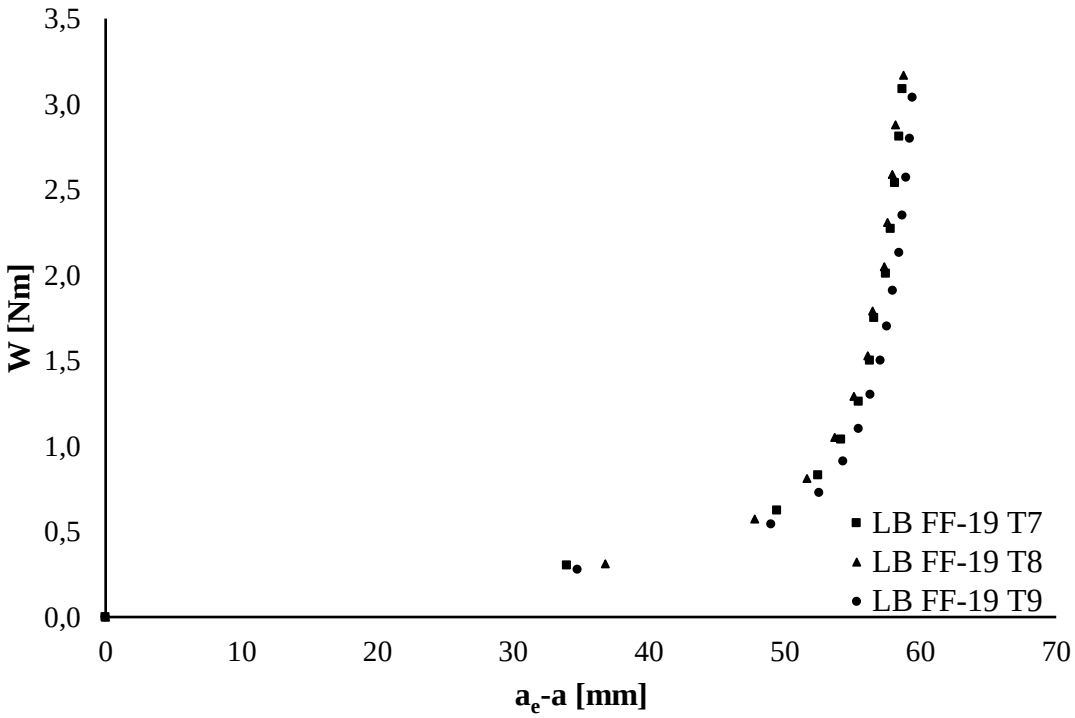
P6. Iniciace trhlin zkušebních těles

P6.1 Tělesa z lehkého betonu – *d*

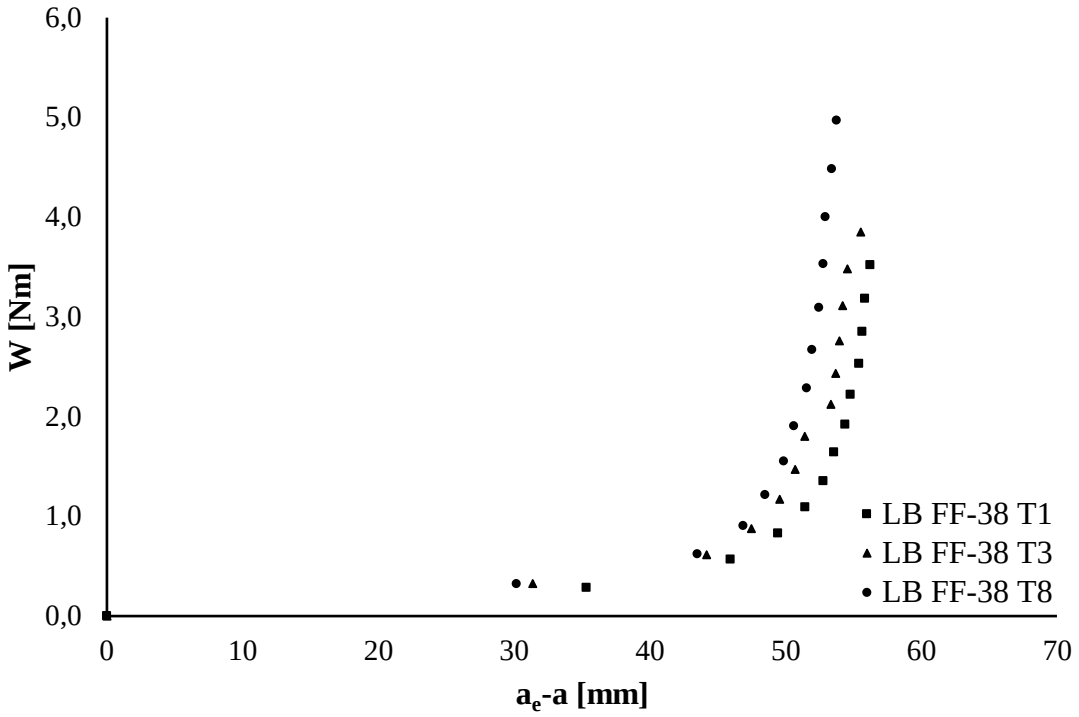
LB REF



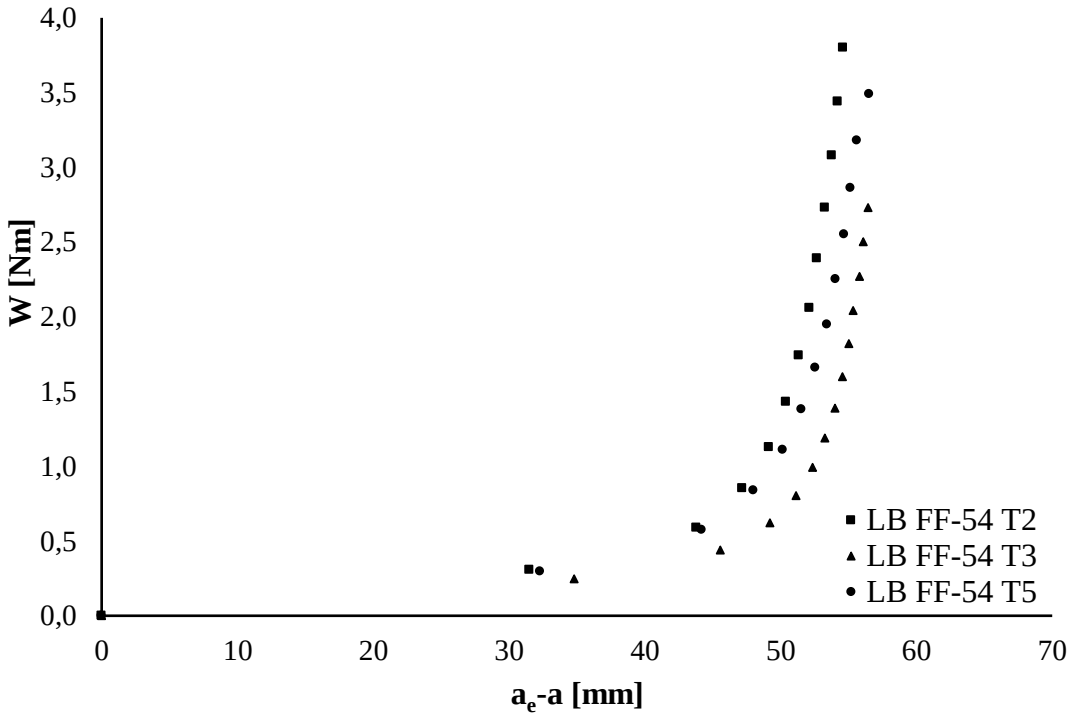
LB FF-19



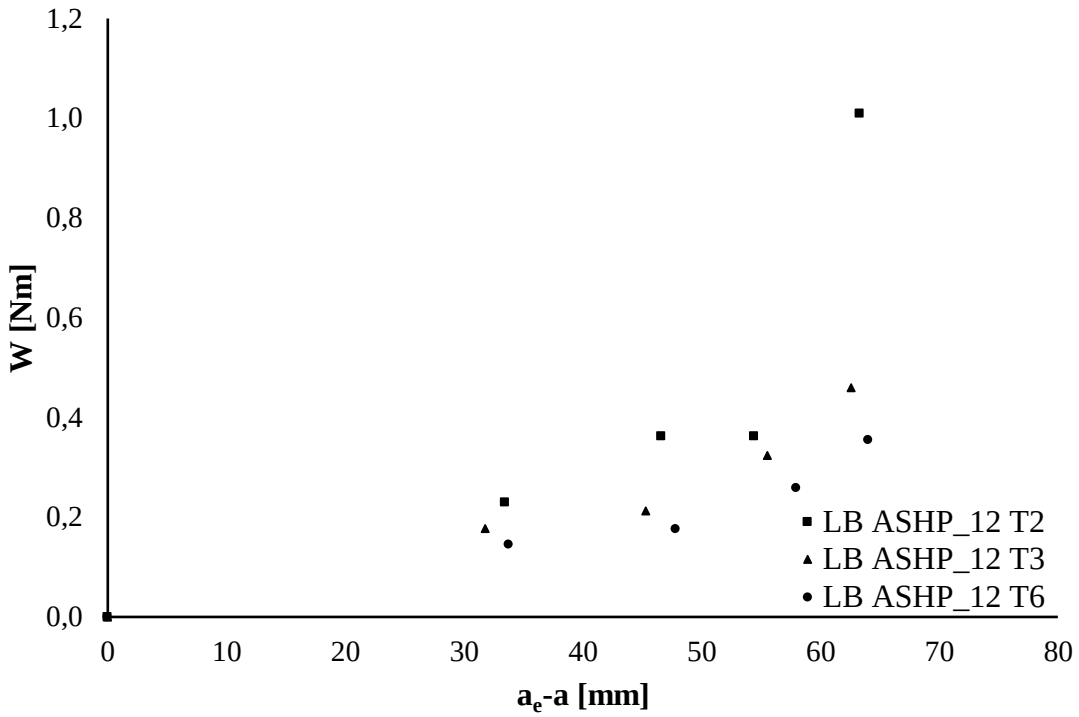
LB FF-38



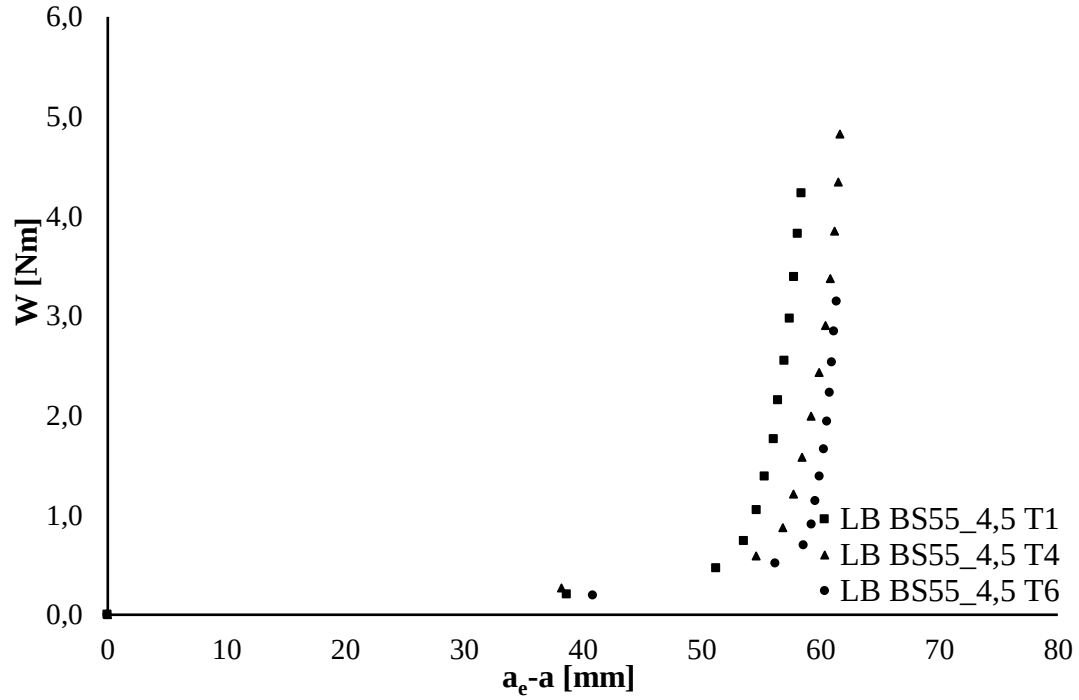
LB FF-54



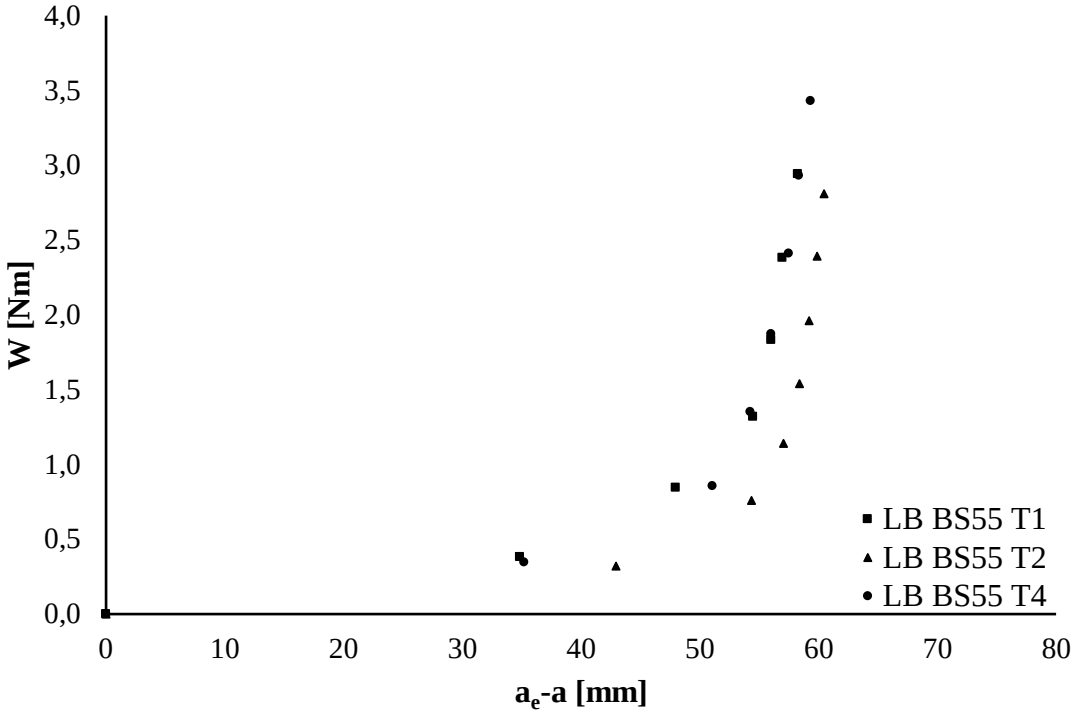
LB ASHP_12



LB BS55_4,5

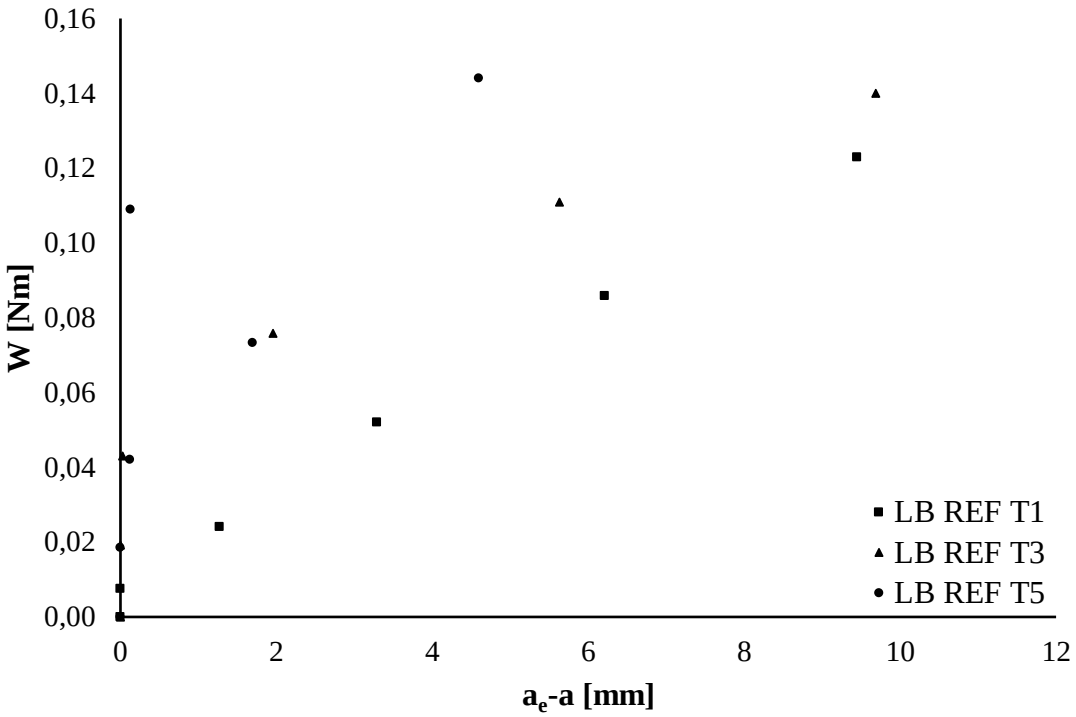


LB BS55

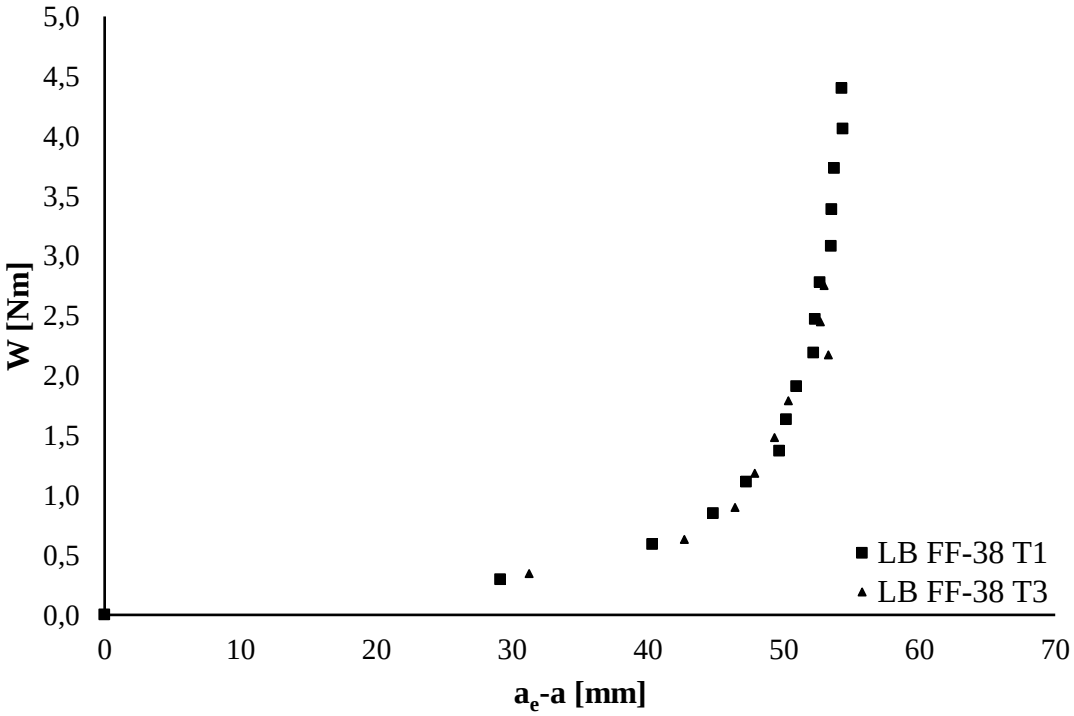

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T1
LB BS55 T2
LB BS55 T4

P6.2 Tělesa z lehkého betonu – $CMOD$

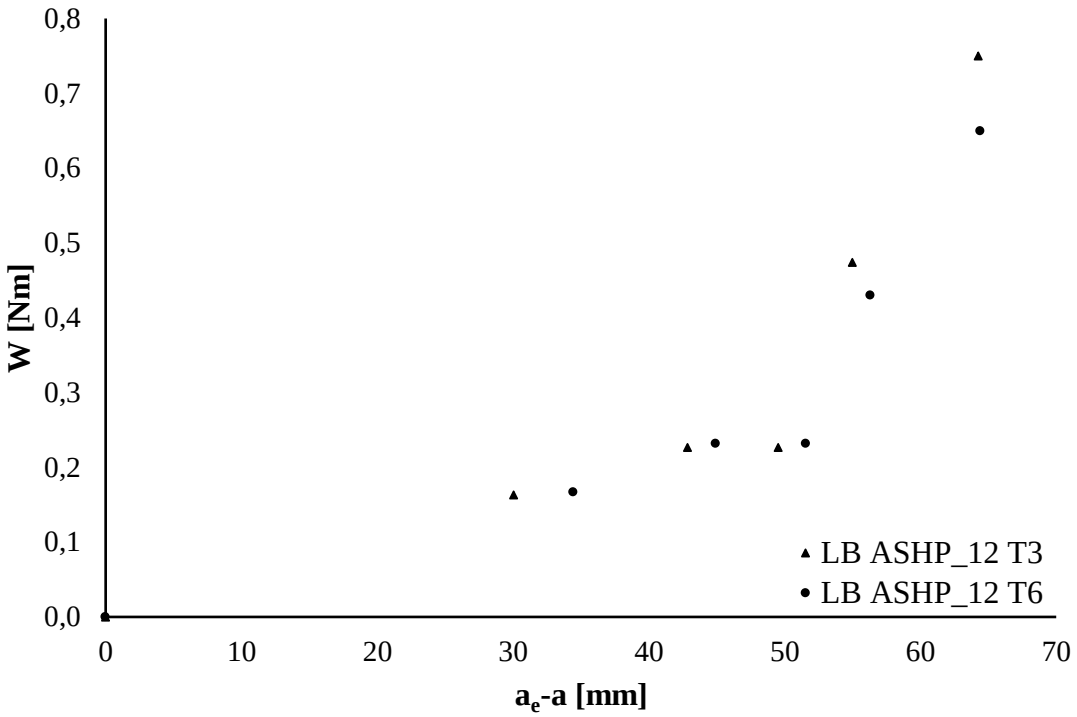
LB REF



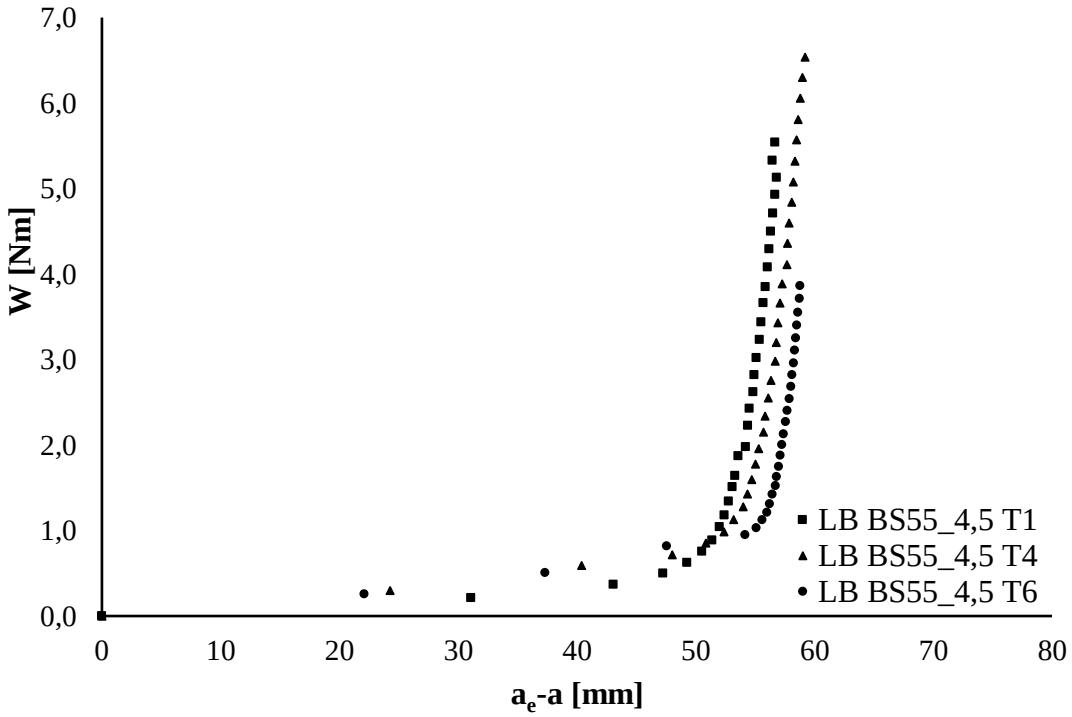
LB FF-38



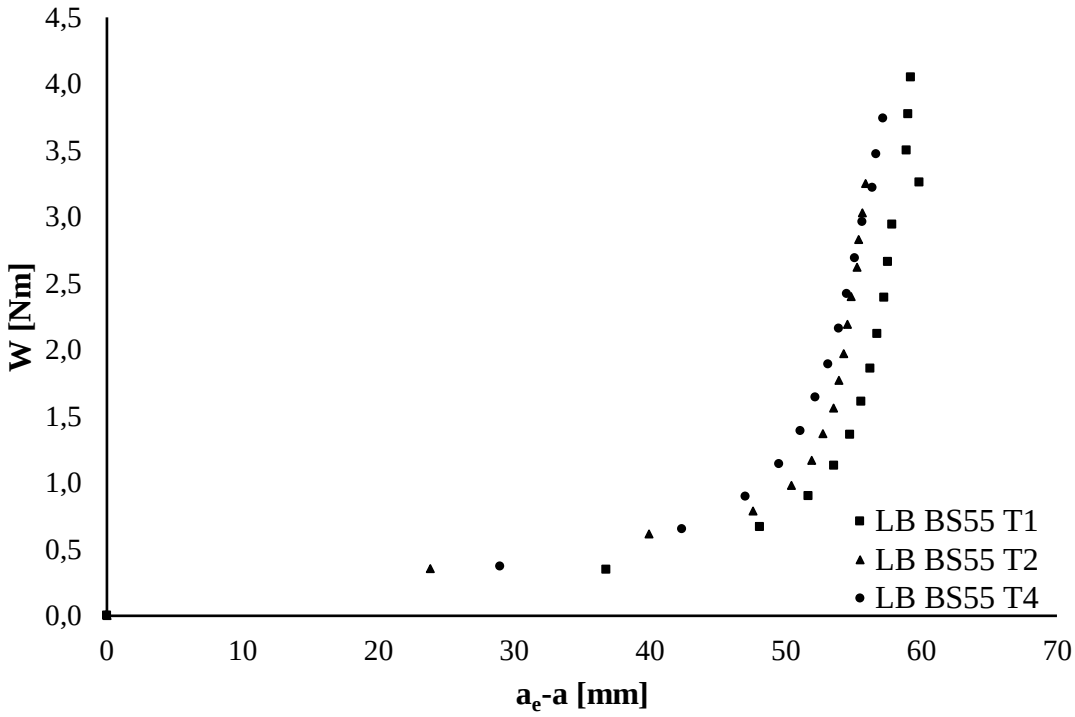
LB FF-54



LB BS55_4,5

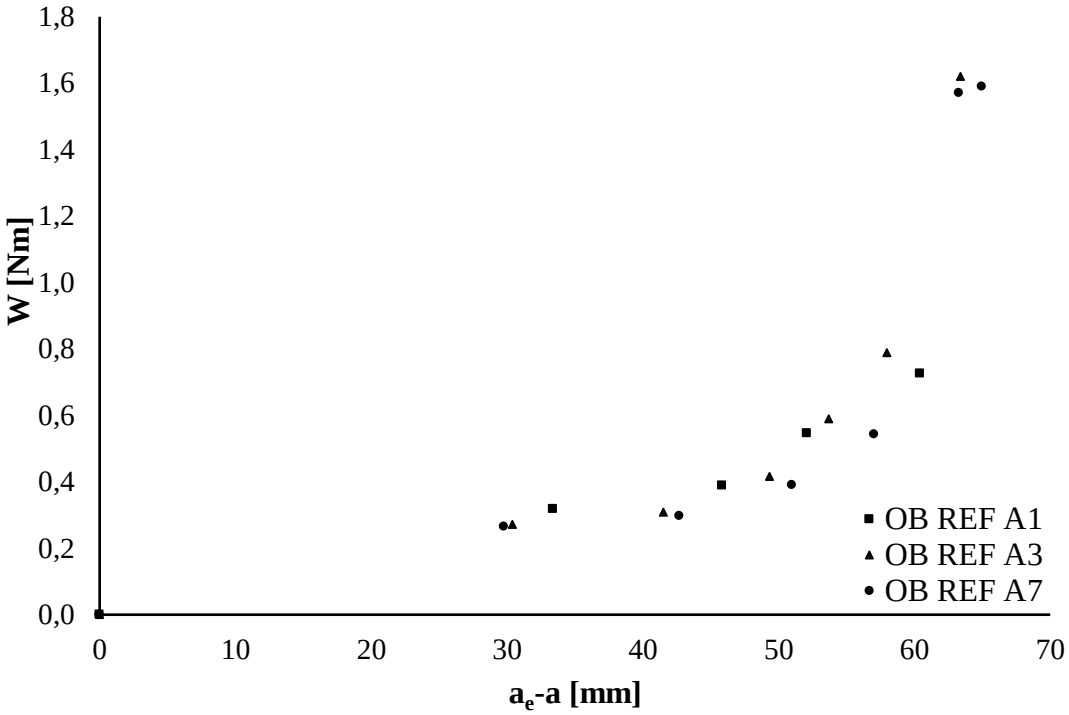


LB BS55

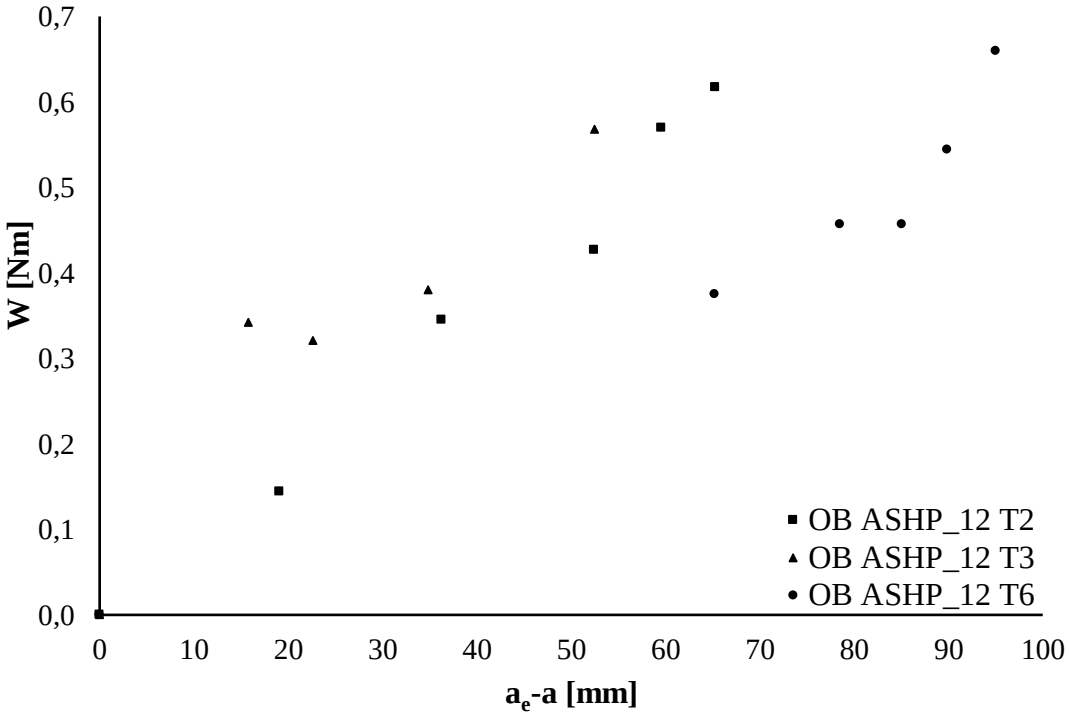

4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB BS55 T1
LB BS55 T2
LB BS55 T4

P6.3 Tělesa z obyčejného betonu – *d*

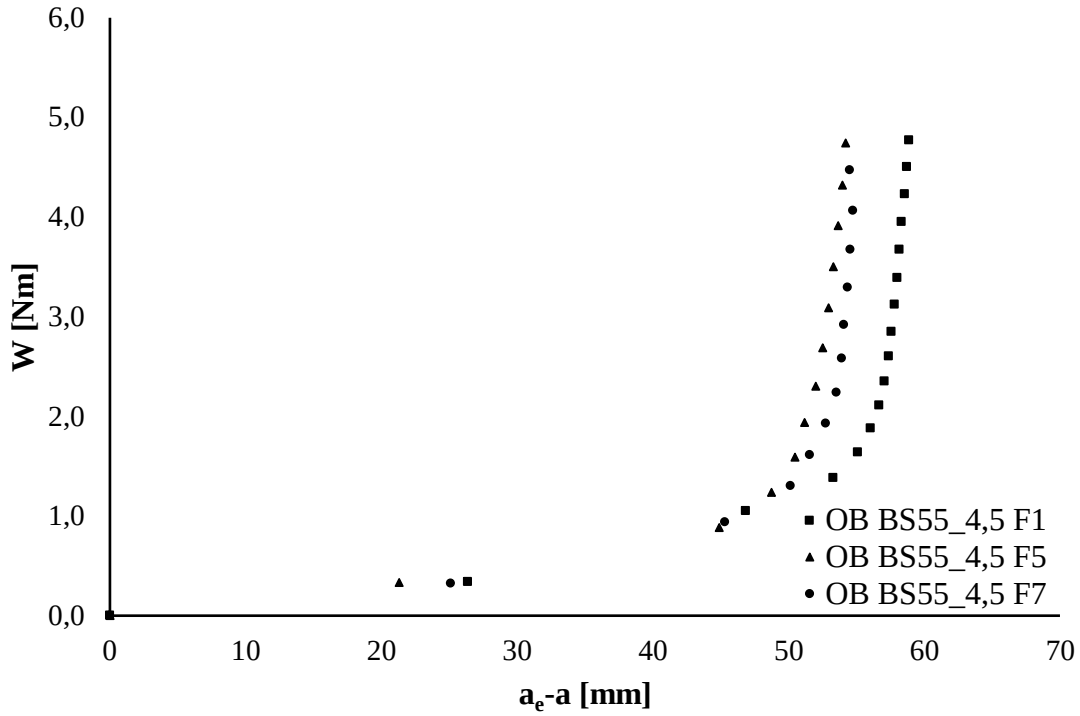
OB REF



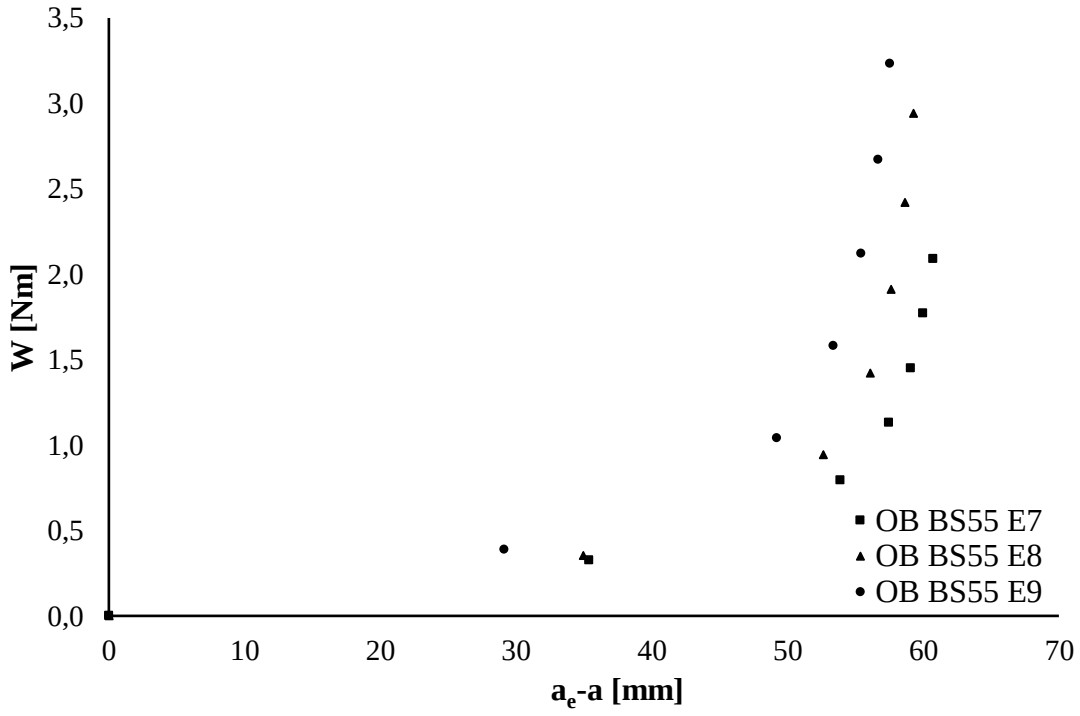
OB ASHP_12



OB BS55_4,5

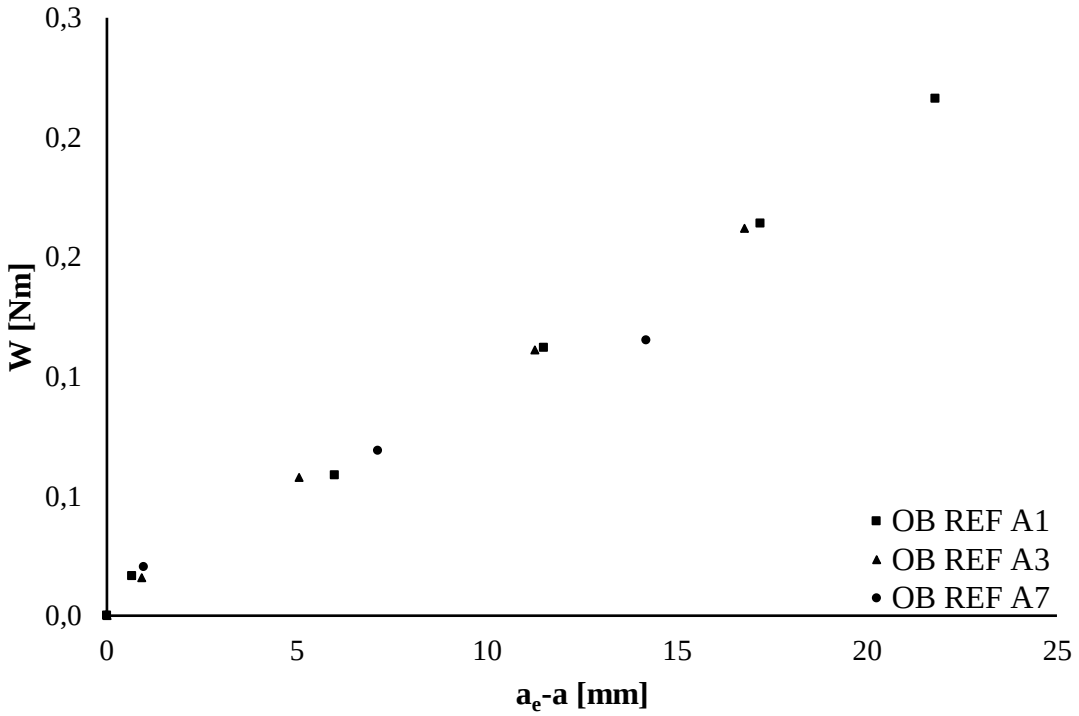


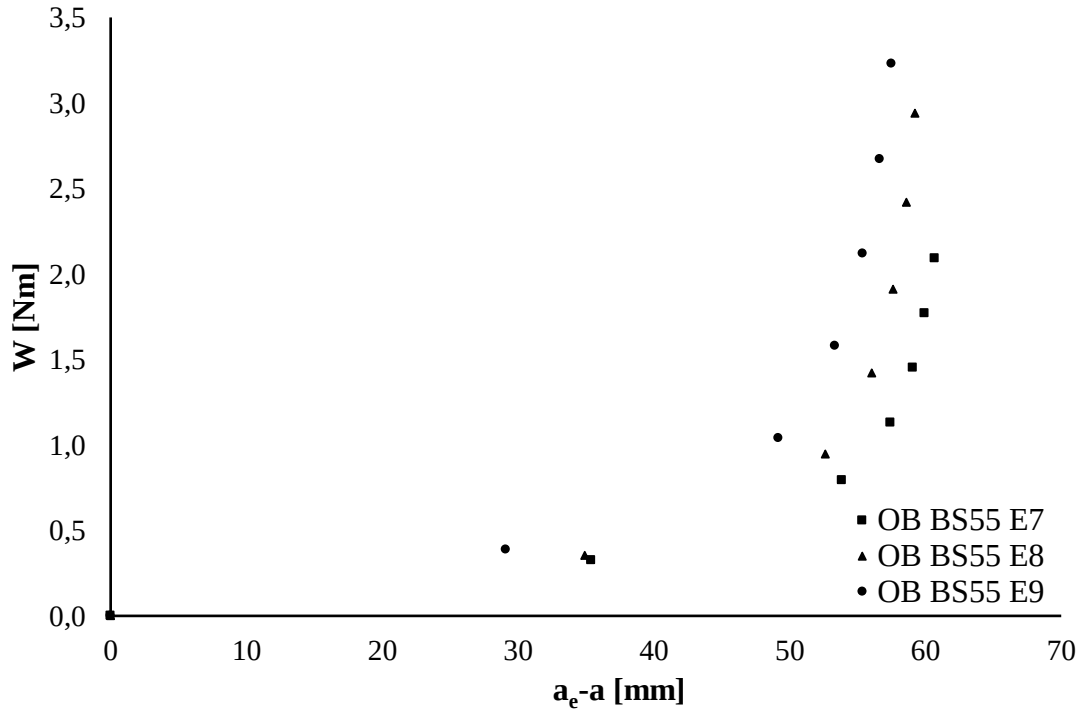
OB BS55



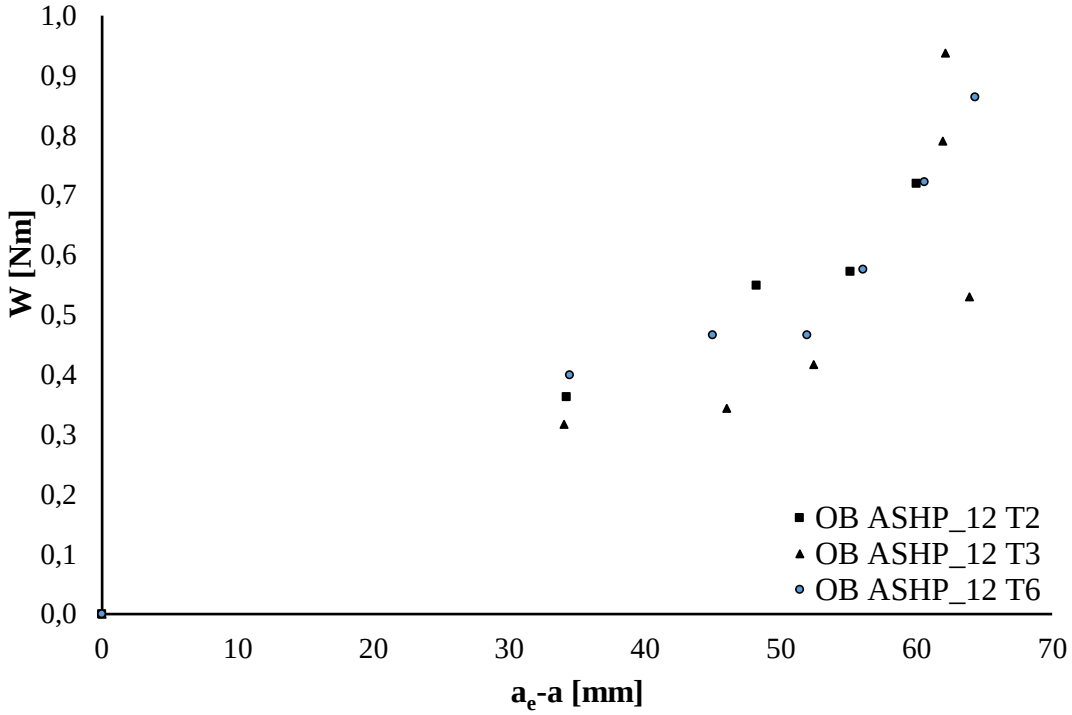
P6.4 Tělesa z obyčejného betonu – $CMOD$

OB REF

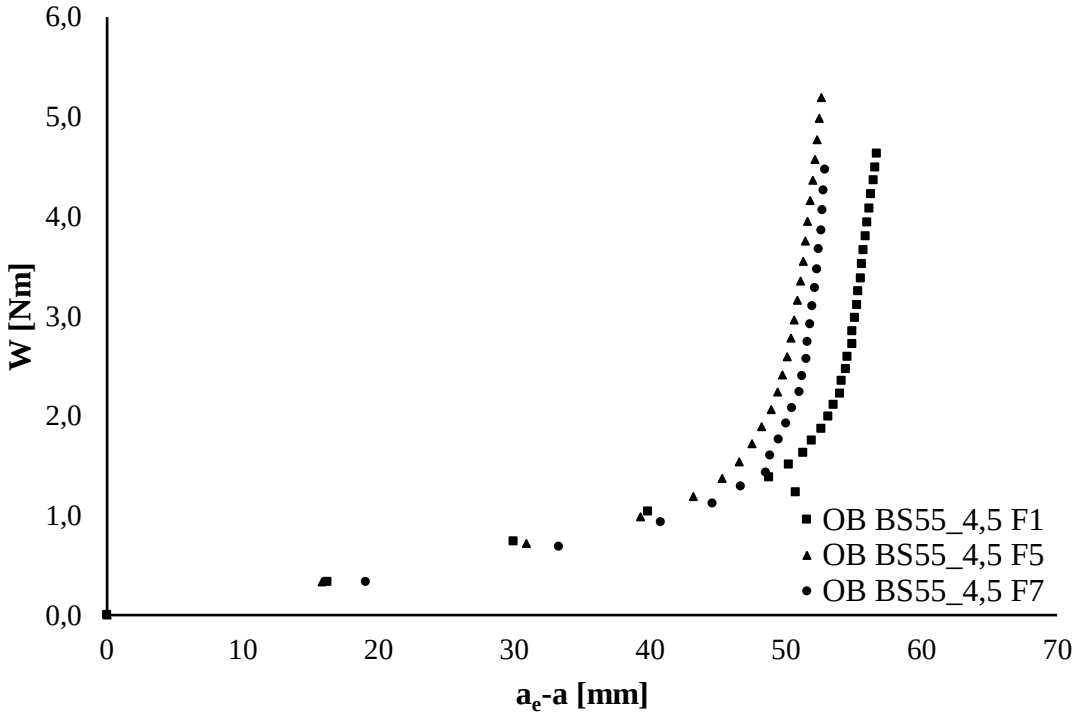




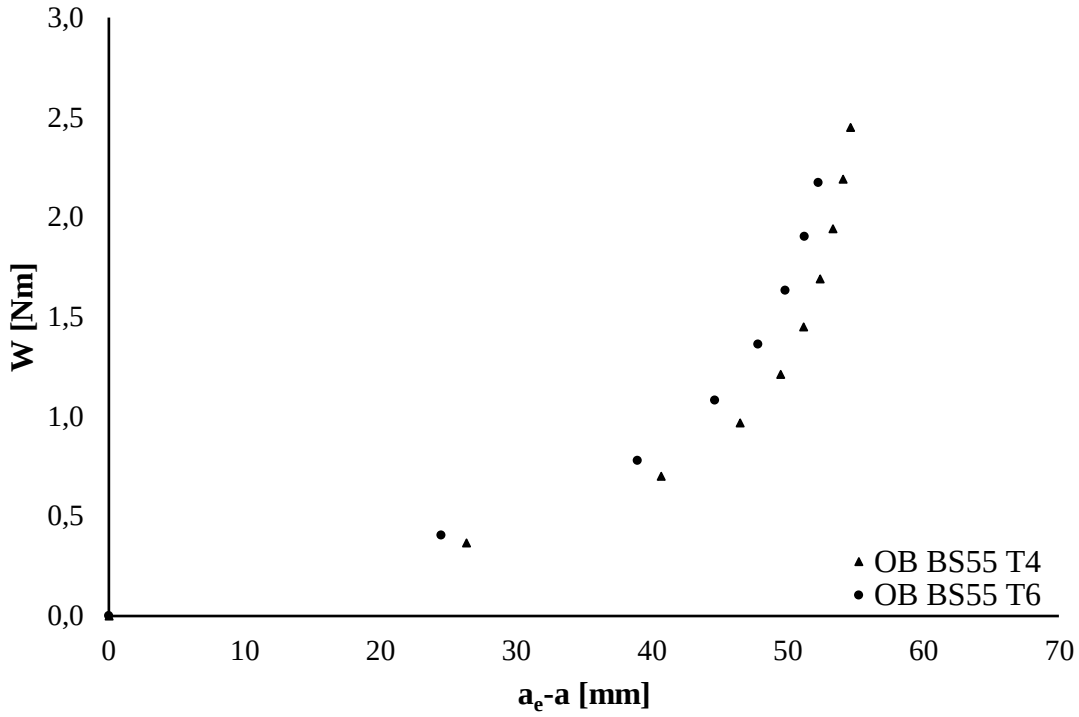
OB ASHP_12



OB BS55_4,5



OB BS55

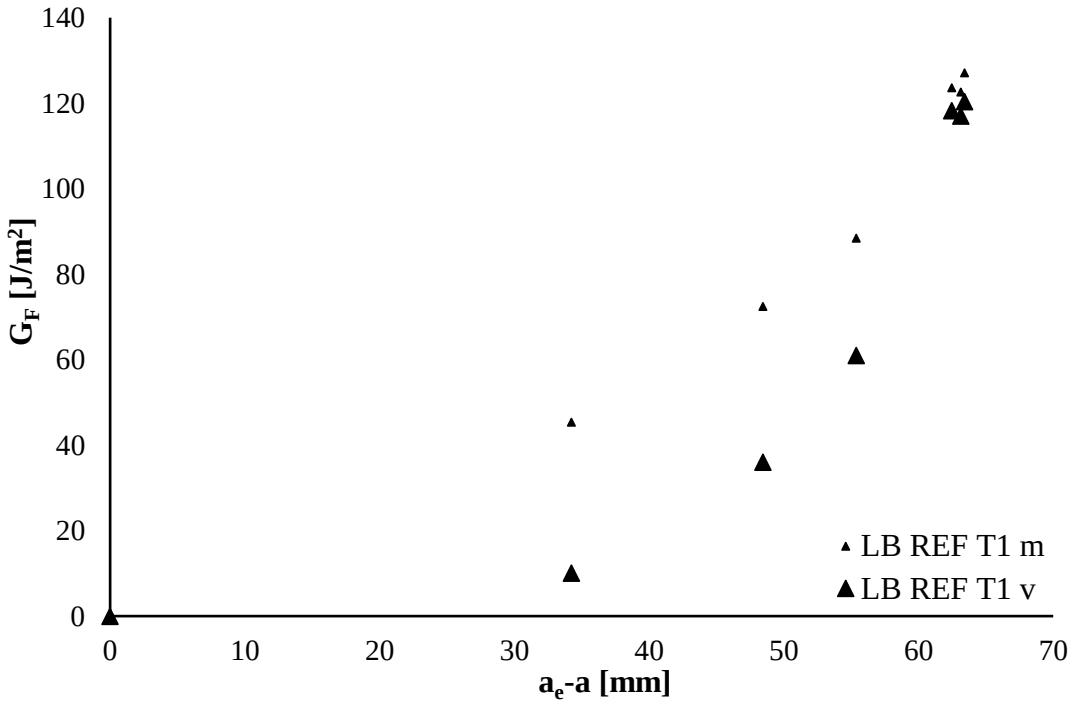

3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
W [Nm]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 T4
OB BS55 T6

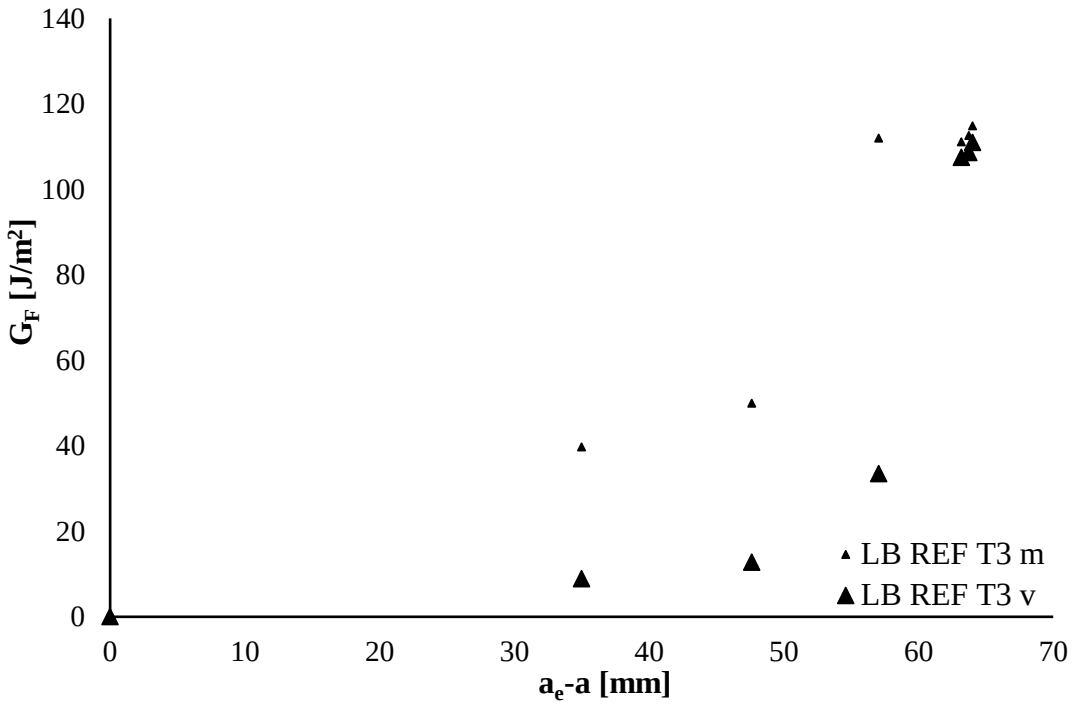
P7. Lomová energie vs. délka trhlin

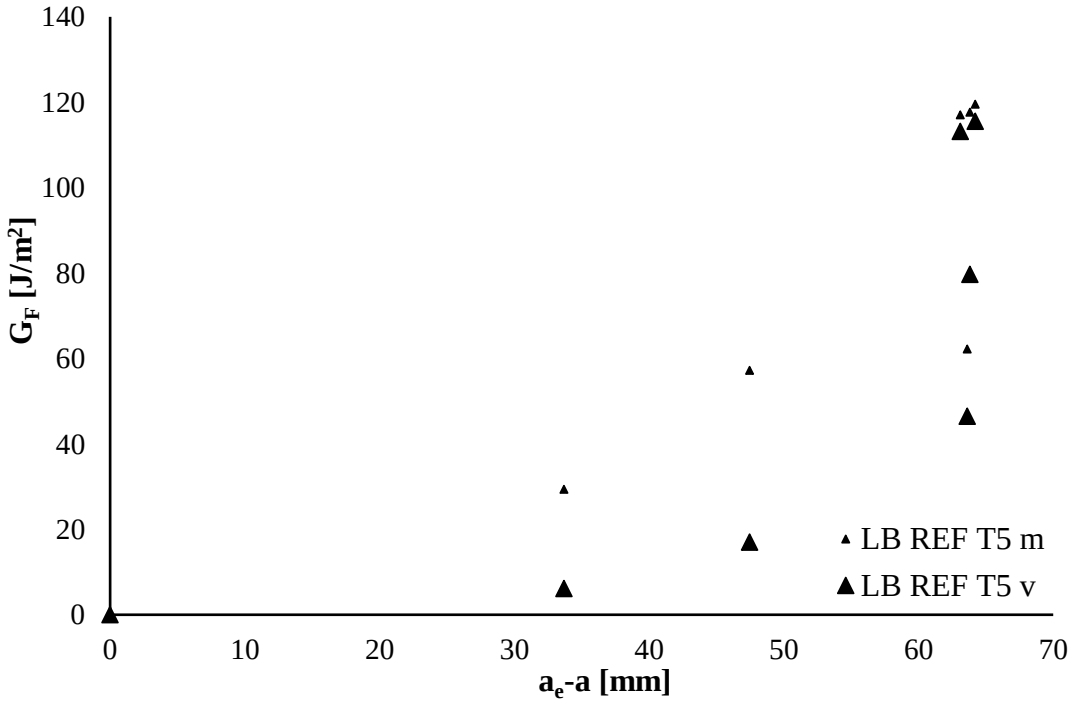
P7.1 Tělesa z lehkého betonu – *d*

Zobrazené grafy v této podkategorii znázorňují lomovou energii G_F [J/m^2] vs. délka trhlin a_e-a [mm] daných těles. Indexy u označení těles *m* či *v* označují lomovou energii, od kterých byl odečten malý trojúhelník *m* nebo velký trojúhelník *v*.

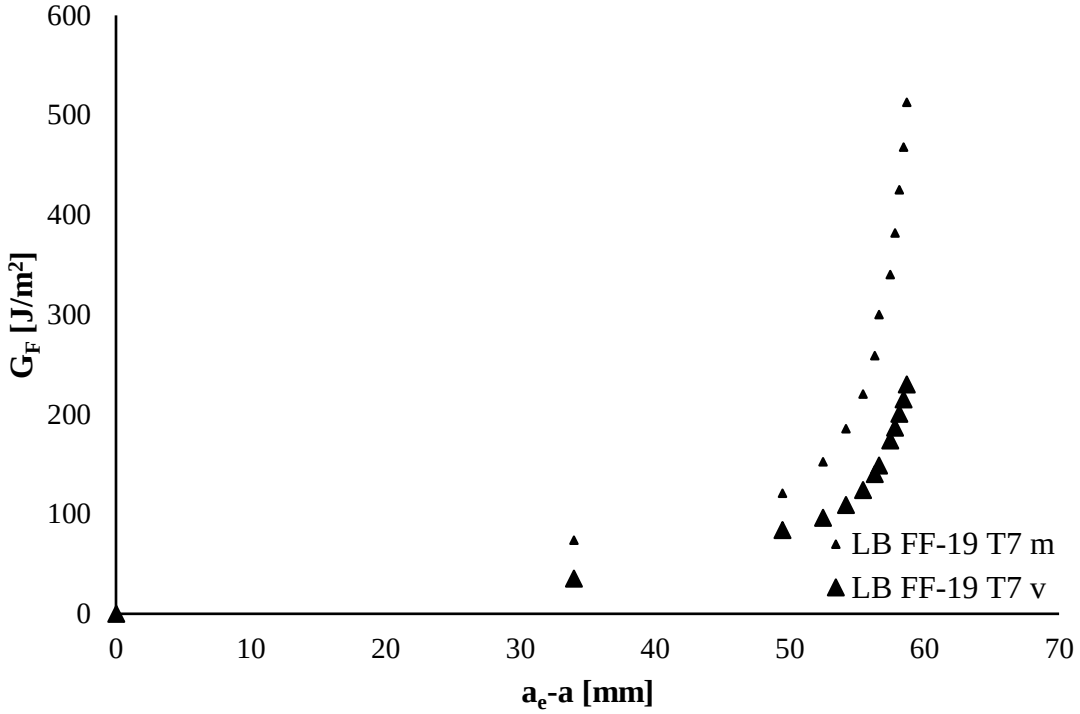
OB REF

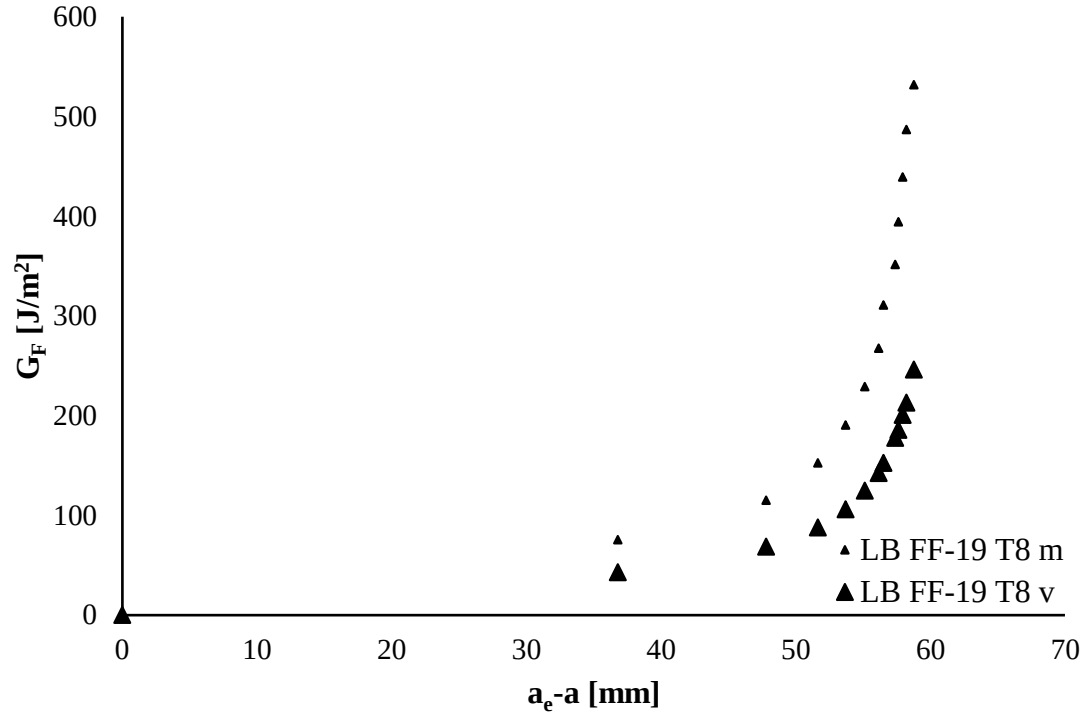


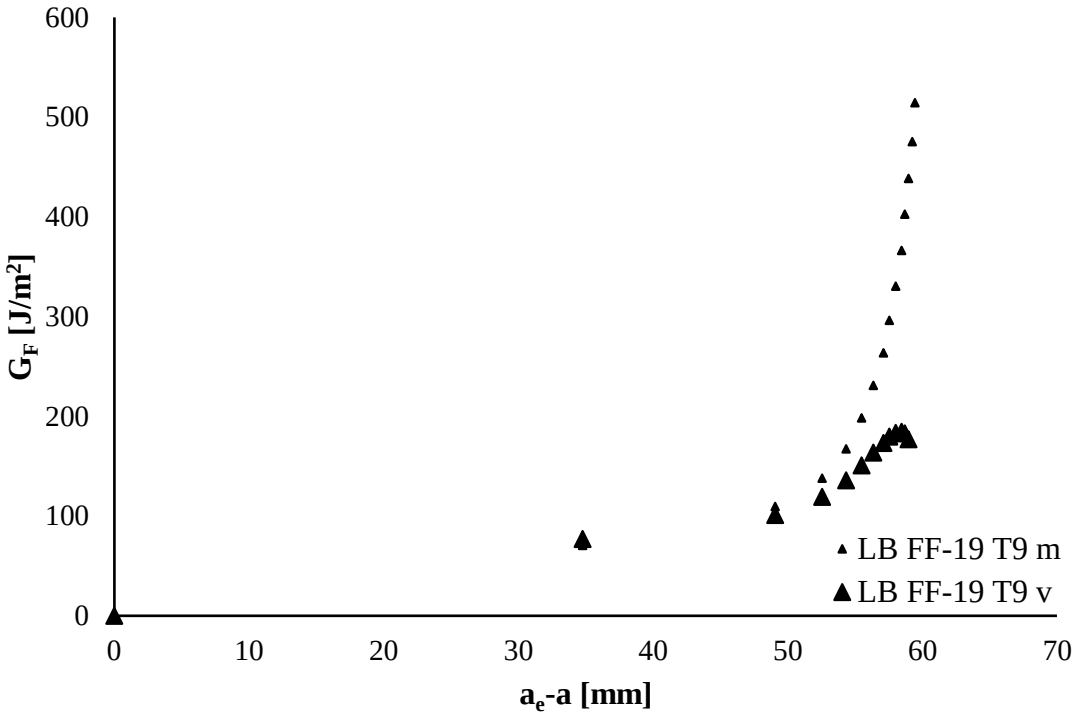

140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB REF T3 m
LB REF T3 v


140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB REF T5 m
LB REF T5 v

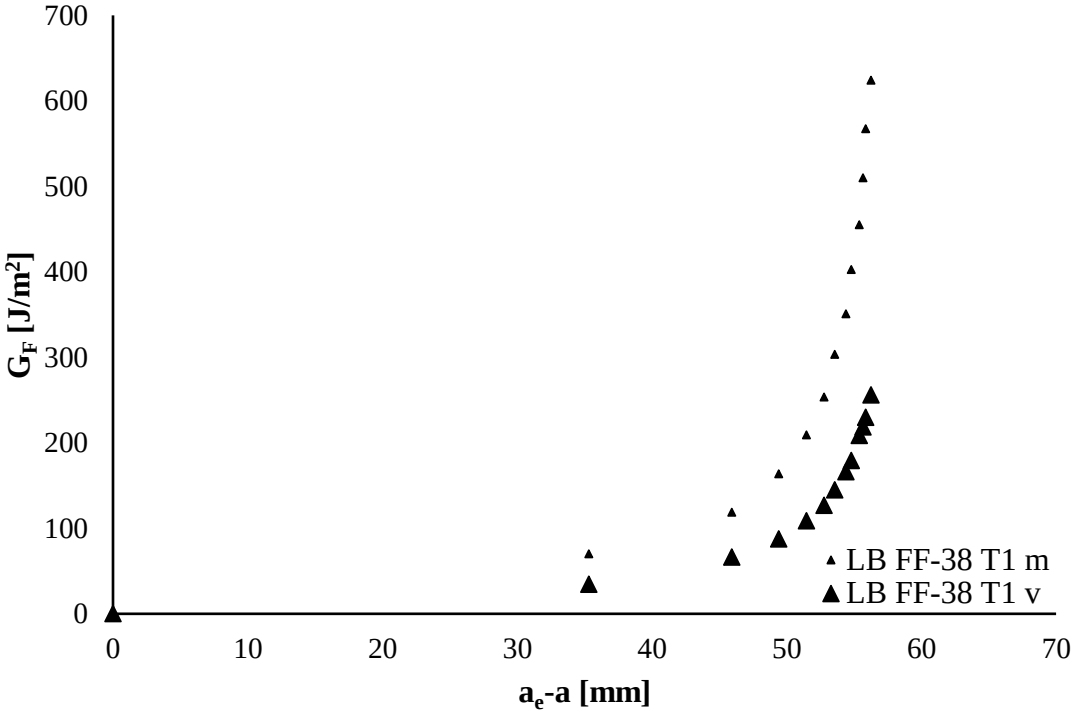
LB FF-19

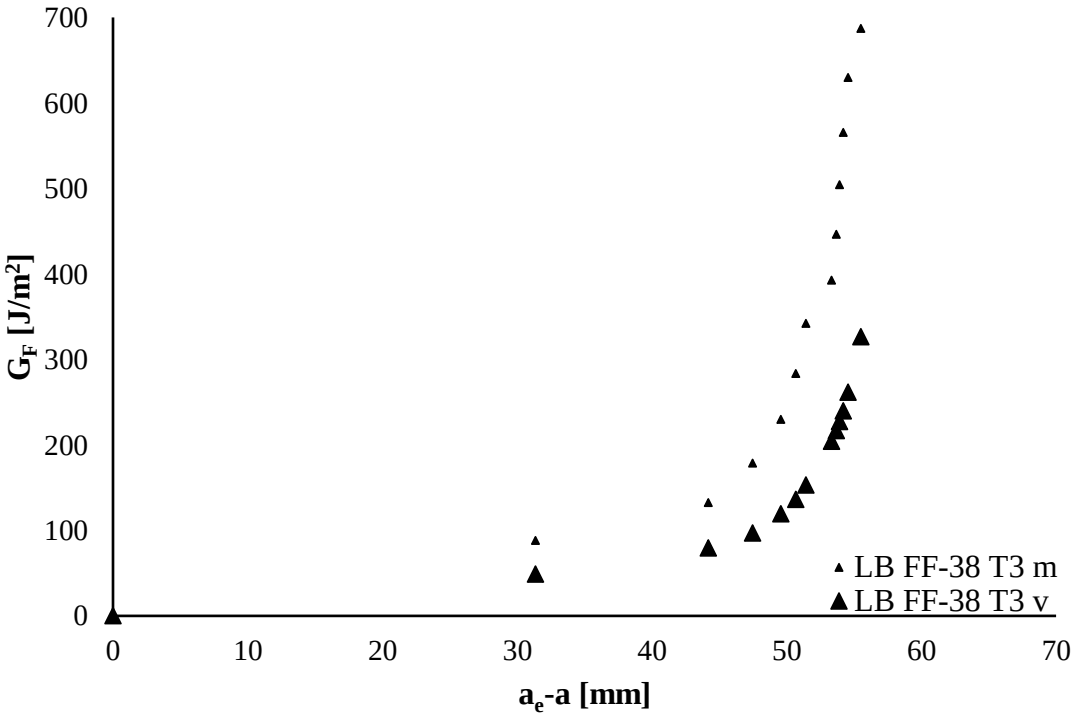

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-19 T7 m
LB FF-19 T7 v

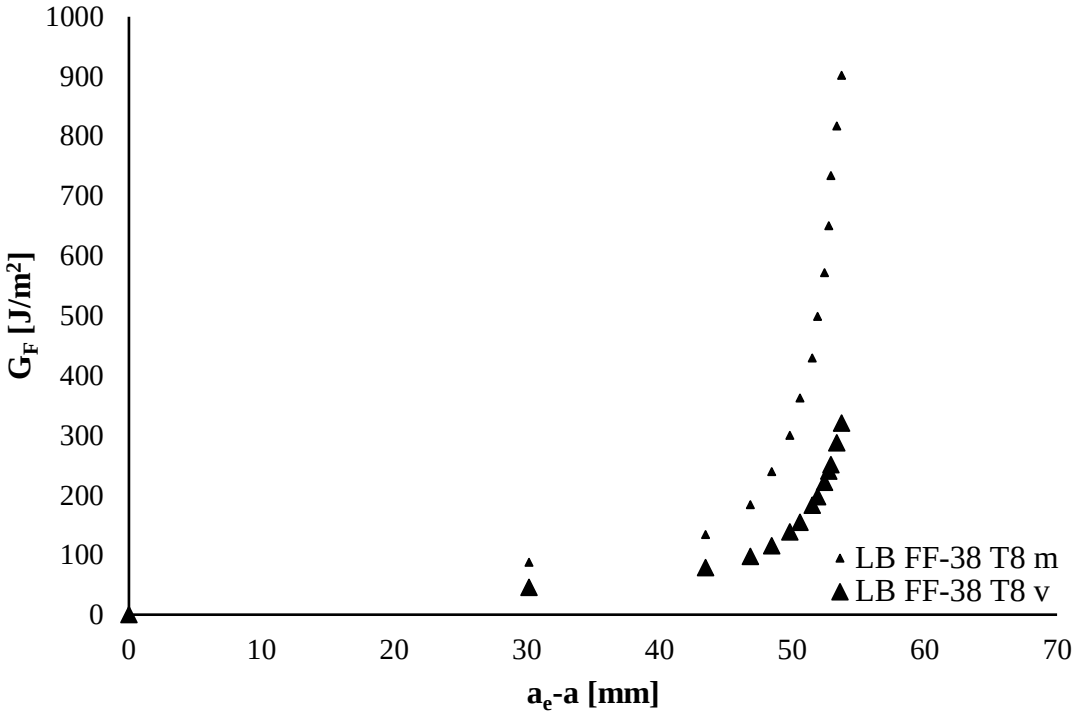

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-19 T8 m
LB FF-19 T8 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-19 T9 m
LB FF-19 T9 v

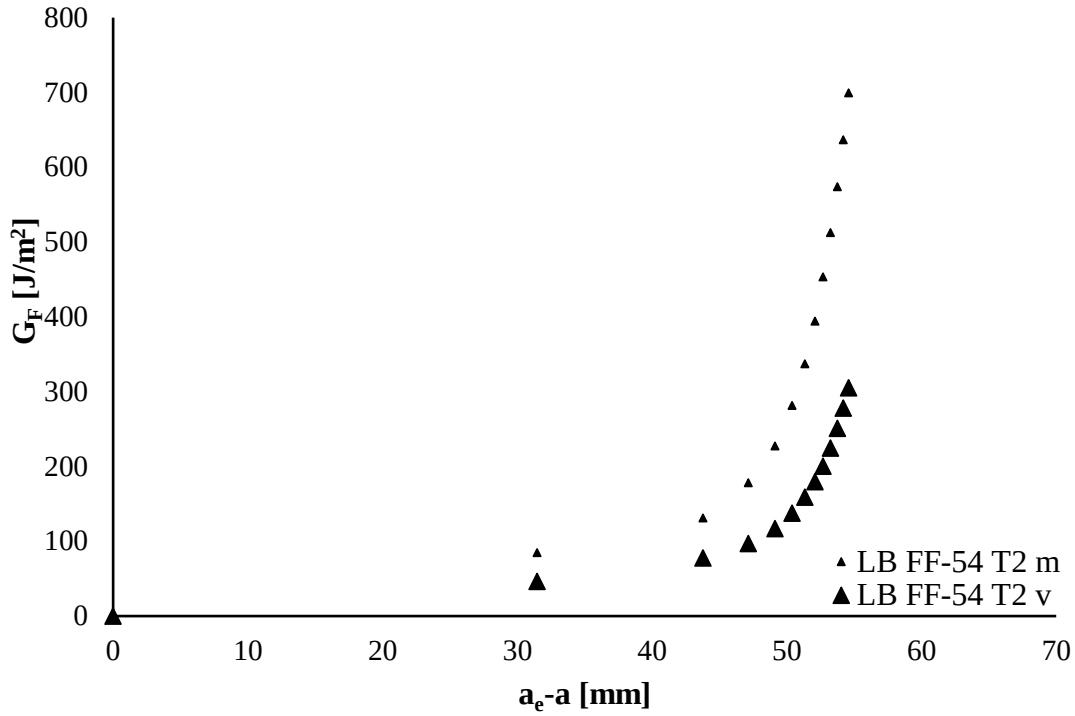
LB FF-38

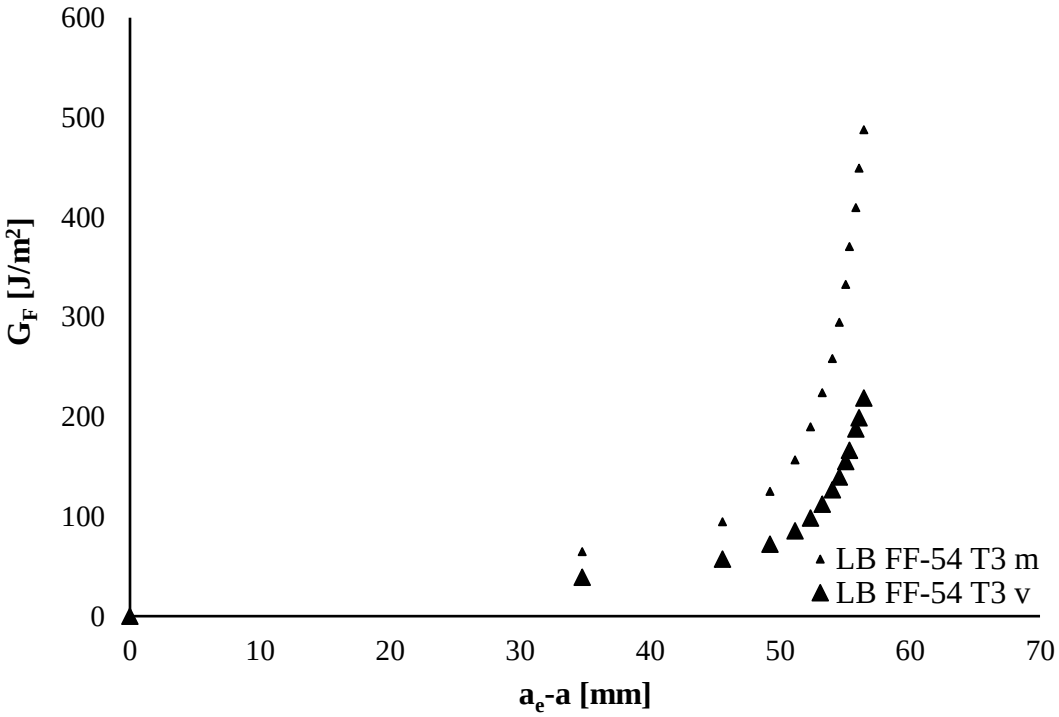

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-38 T1 m
LB FF-38 T1 v

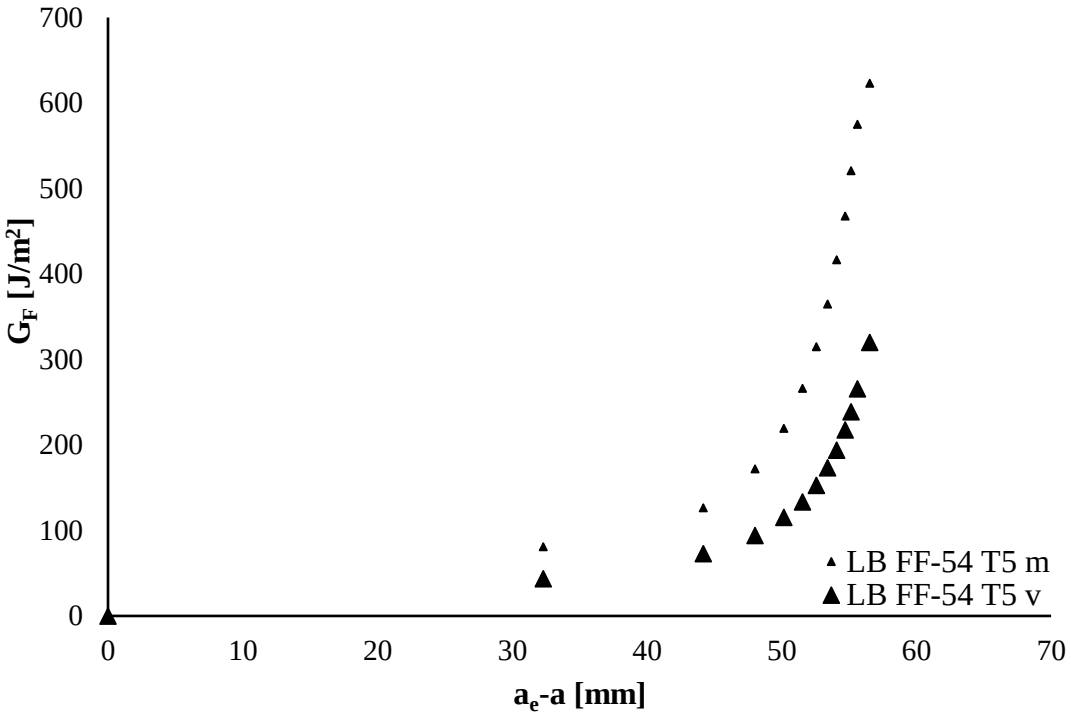

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-38 T3 m
LB FF-38 T3 v


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-38 T8 m
LB FF-38 T8 v

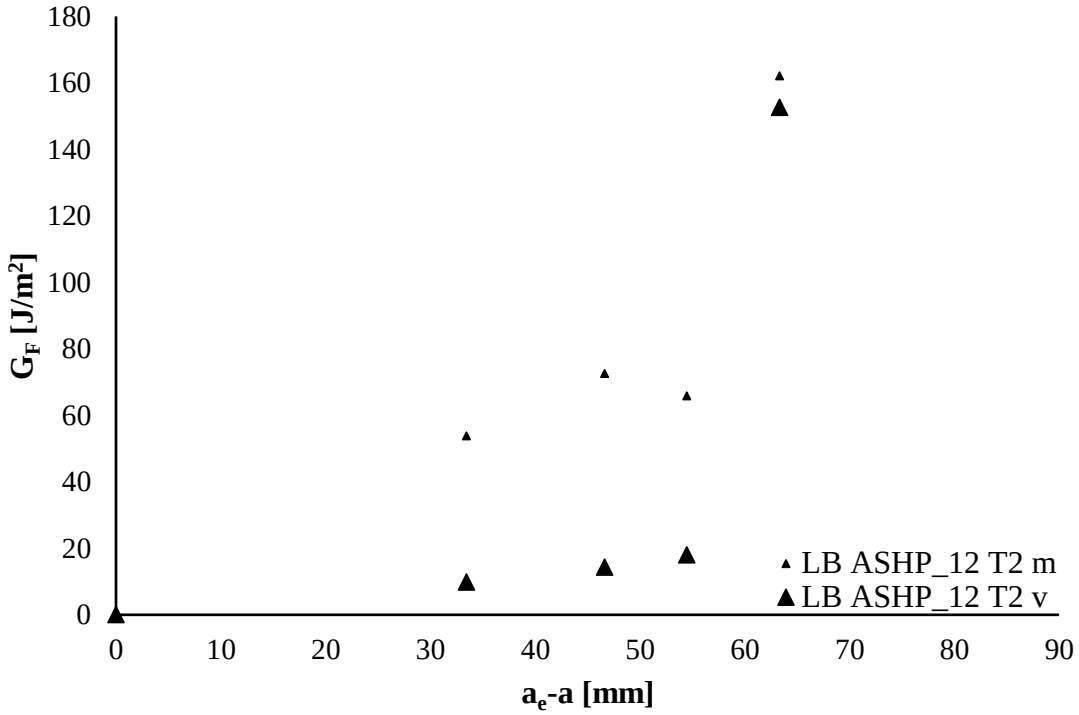
LB FF-54

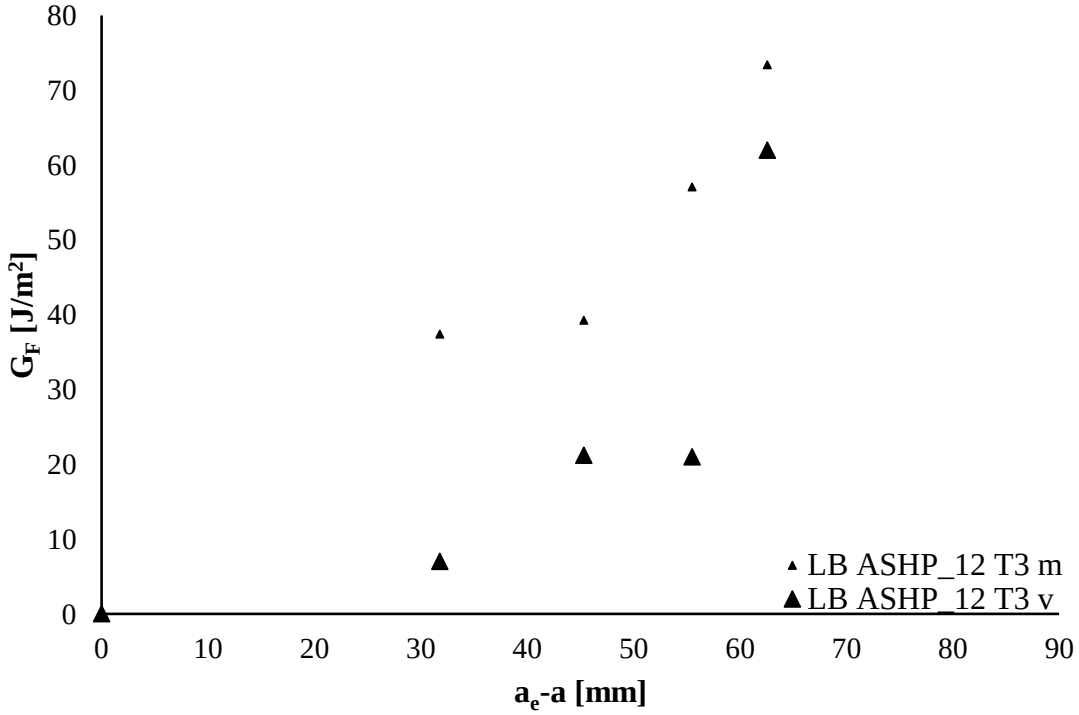

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T2 m
LB FF-54 T2 v

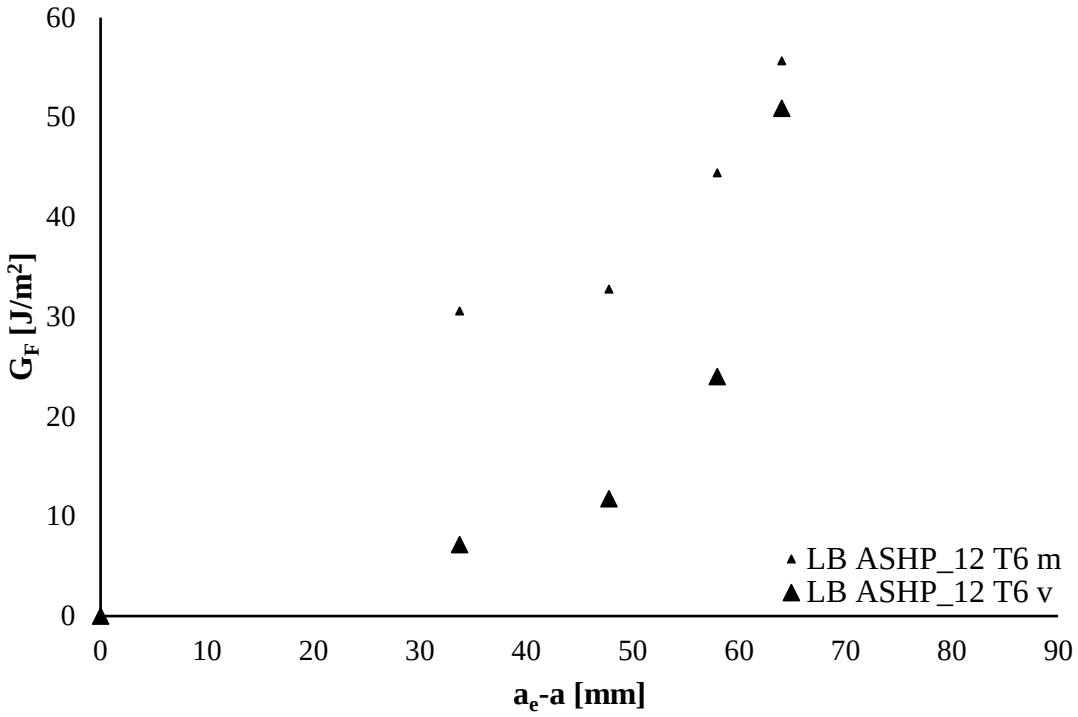

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T3 m
LB FF-54 T3 v


700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T5 m
LB FF-54 T5 v

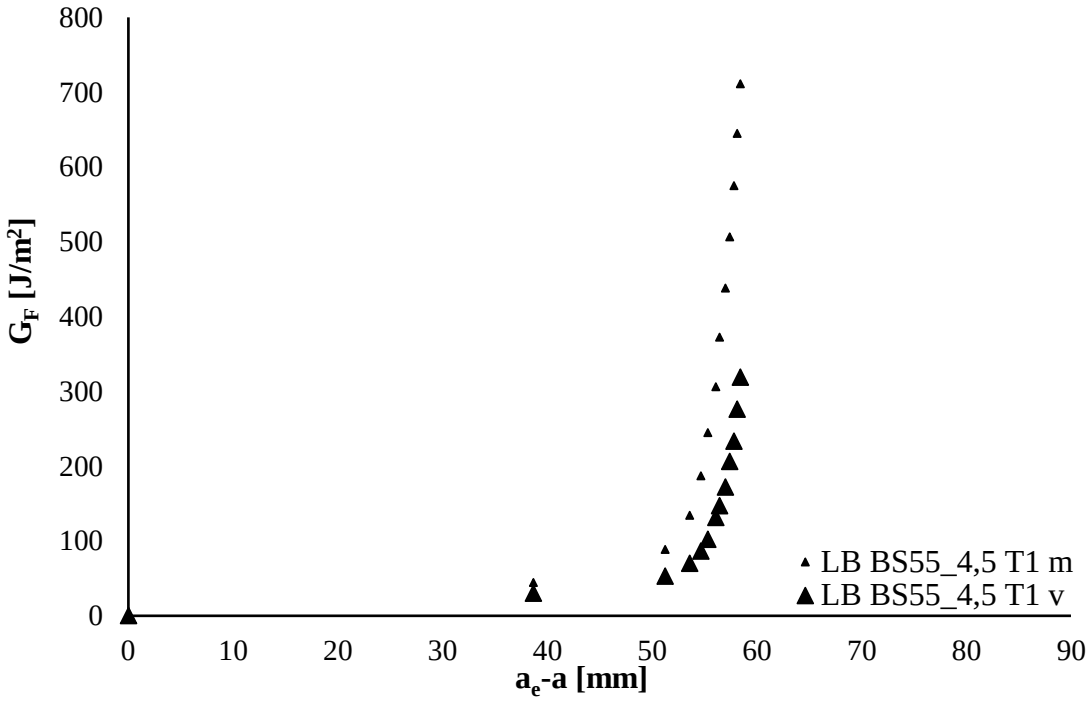
LB ASHP_12

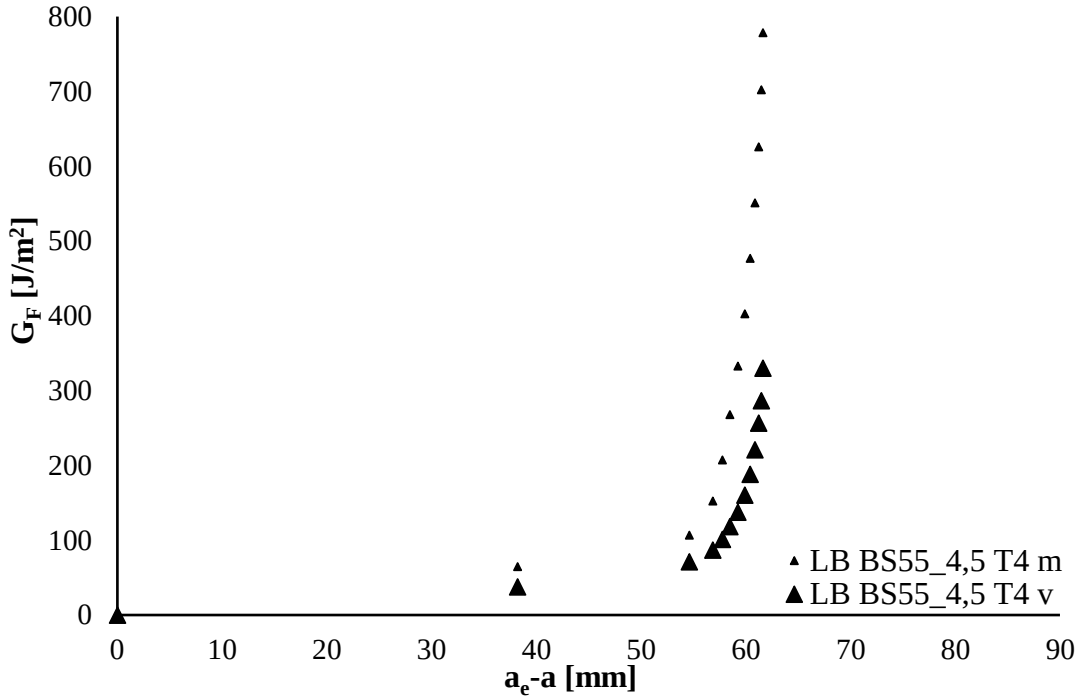

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB ASHP_12 T2 m
LB ASHP_12 T2 v

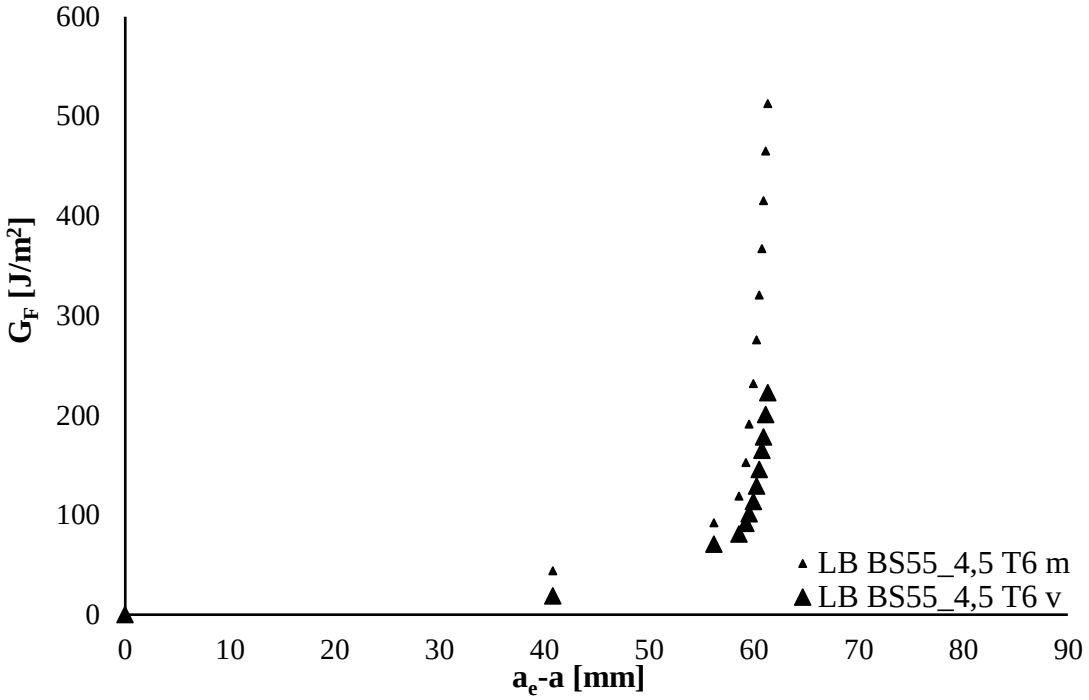

80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB ASHP_12 T3 m
LB ASHP_12 T3 v


60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB ASHP_12 T6 m
LB ASHP_12 T6 v

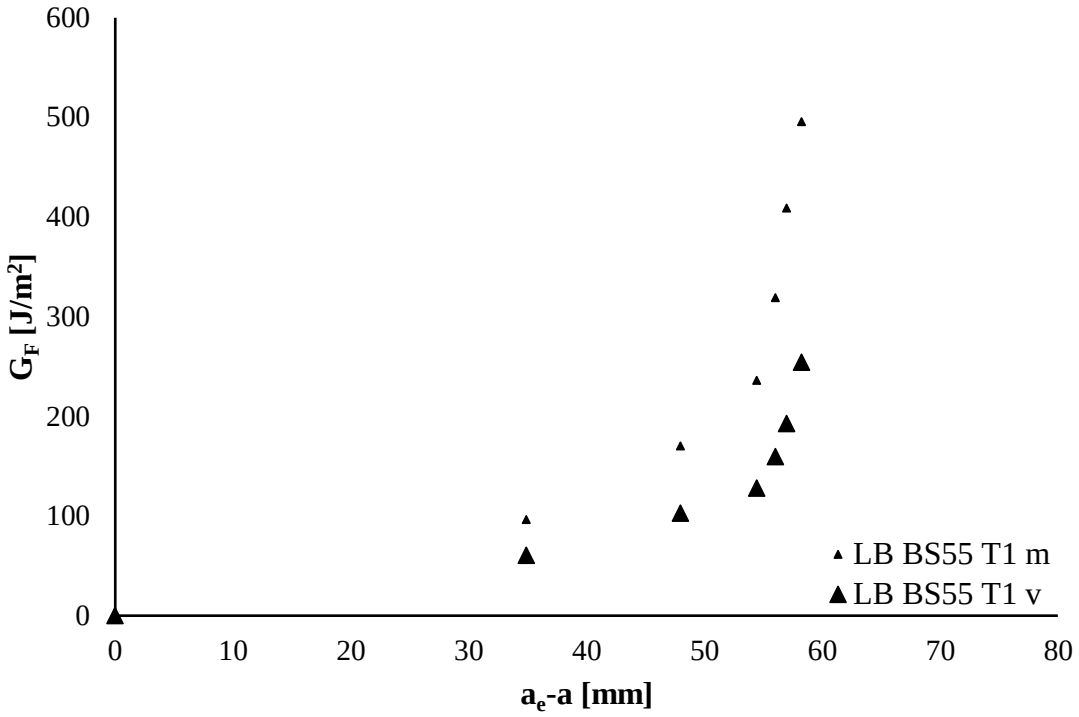
LB BS55_4,5

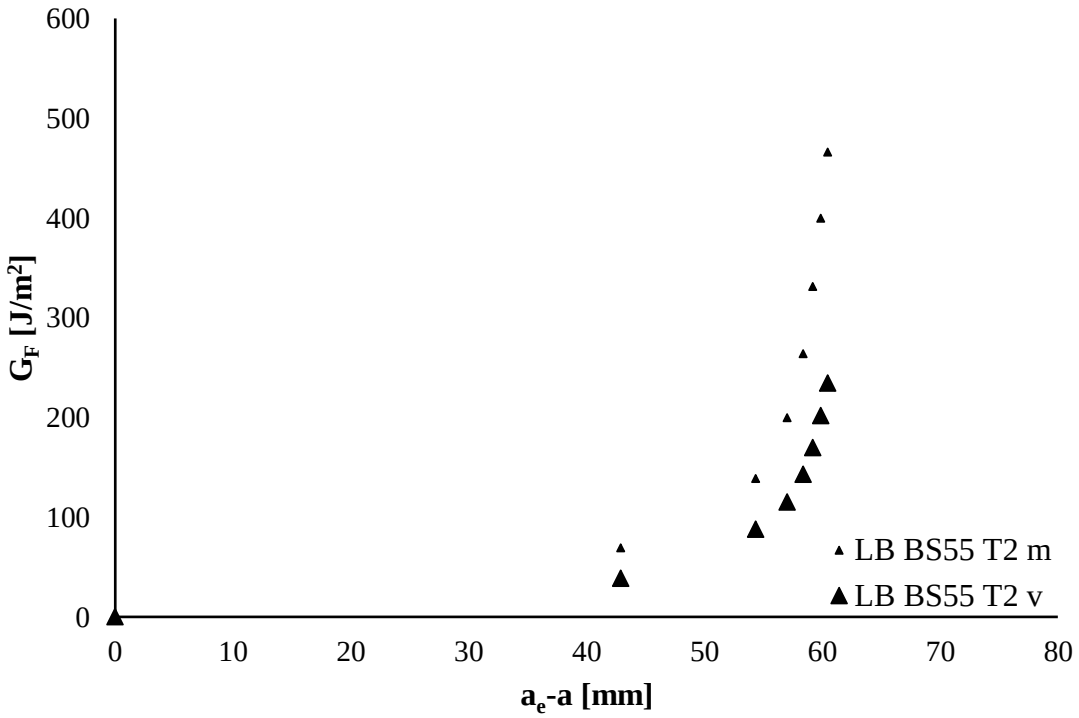

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T1 m
LB BS55_4,5 T1 v

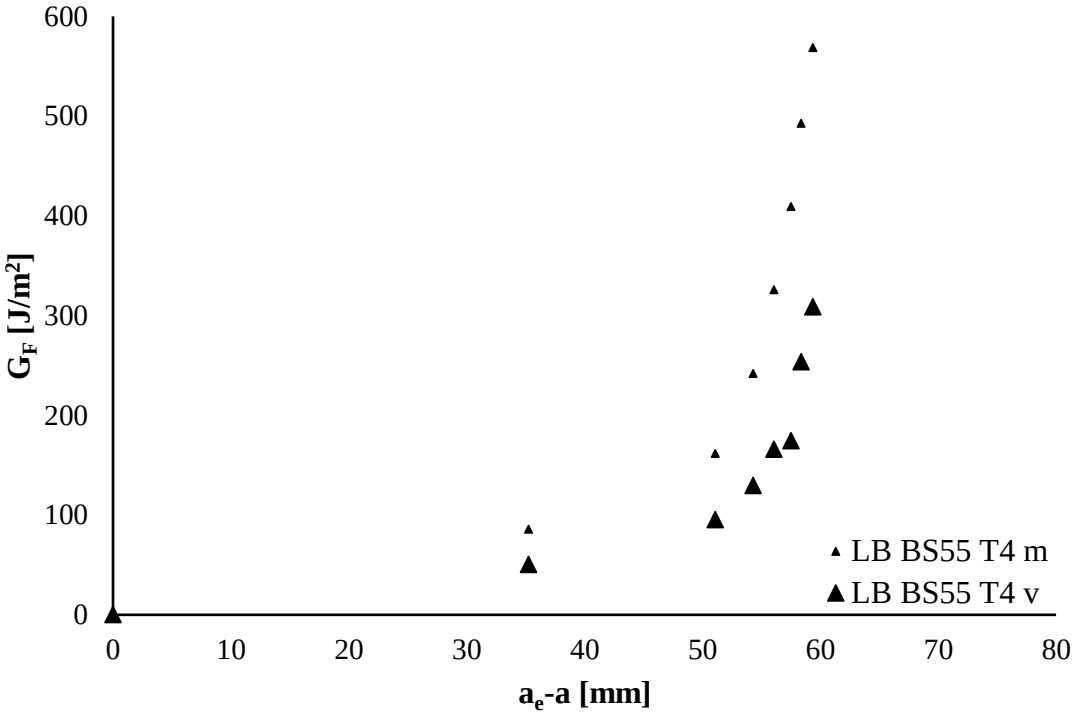

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T4 m
LB BS55_4,5 T4 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T6 m
LB BS55_4,5 T6 v

LB BS55

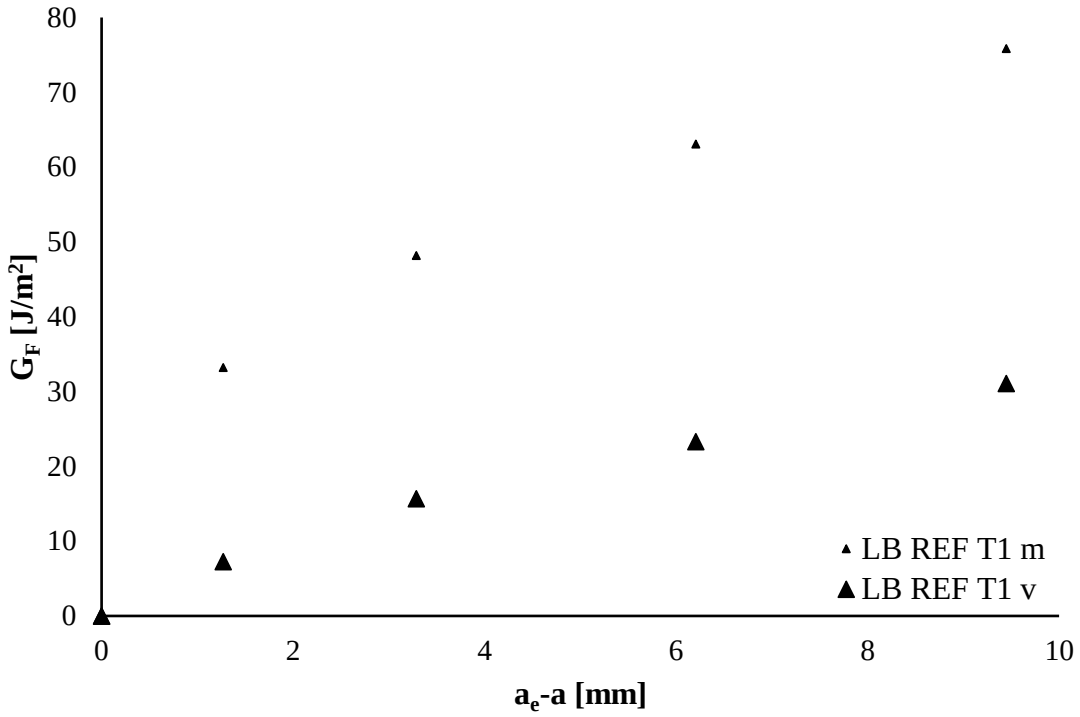

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T1 m
LB BS55 T1 v

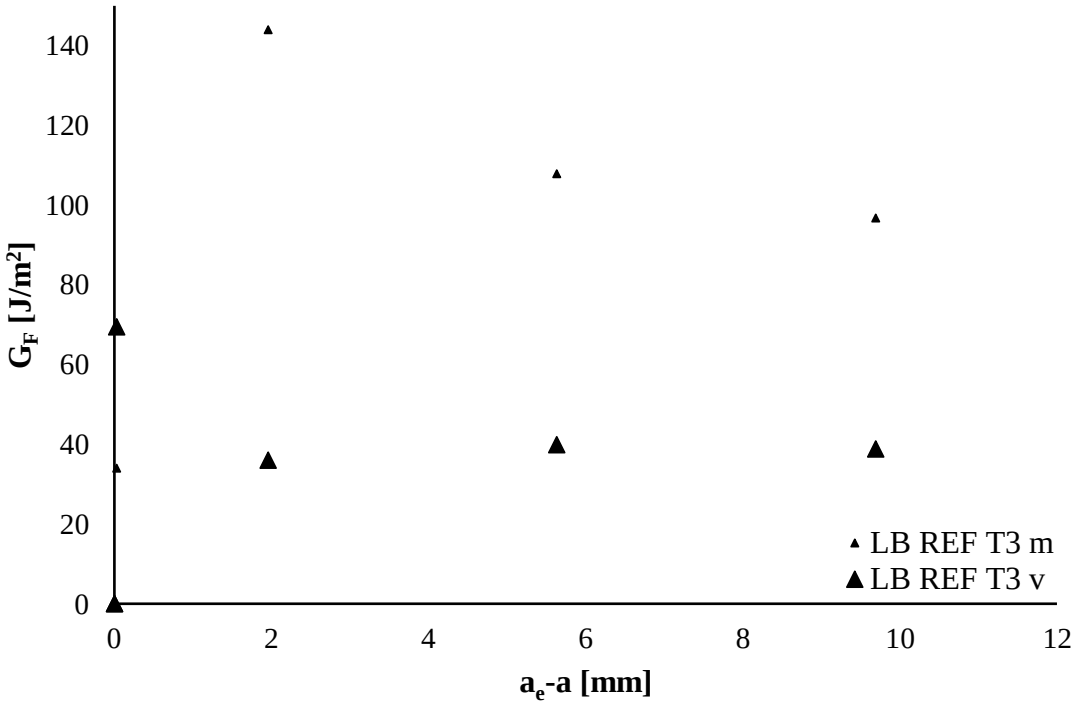

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T2 m
LB BS55 T2 v

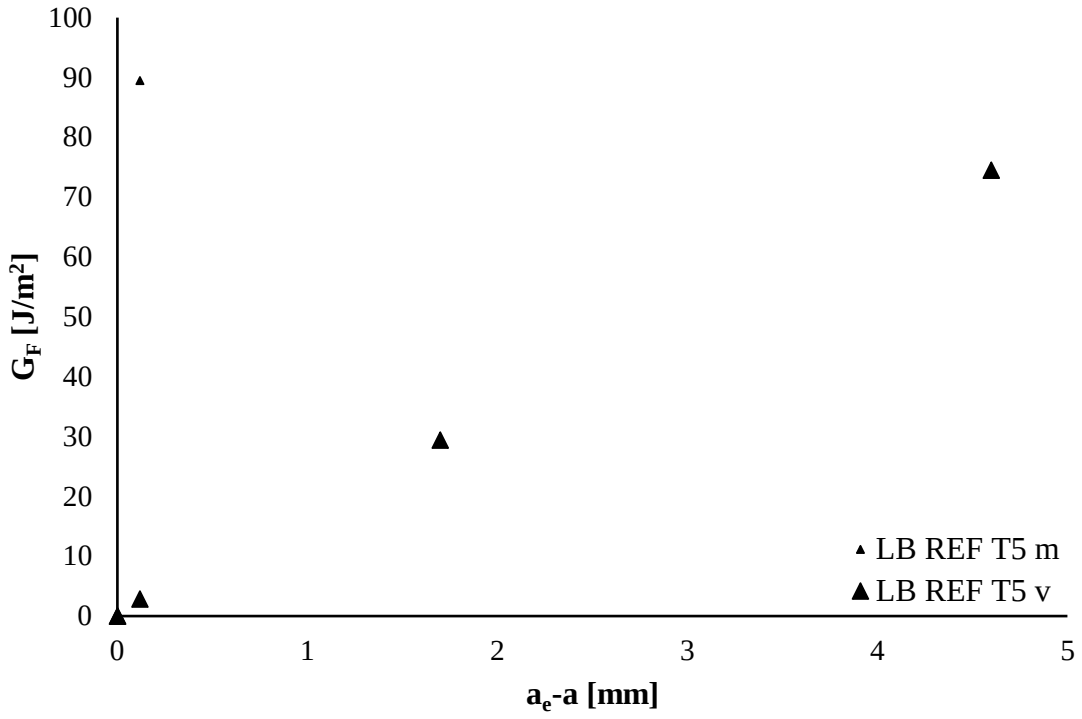

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T4 m
LB BS55 T4 v

P7.2 Tělesa z lehkého betonu – $CMOD$

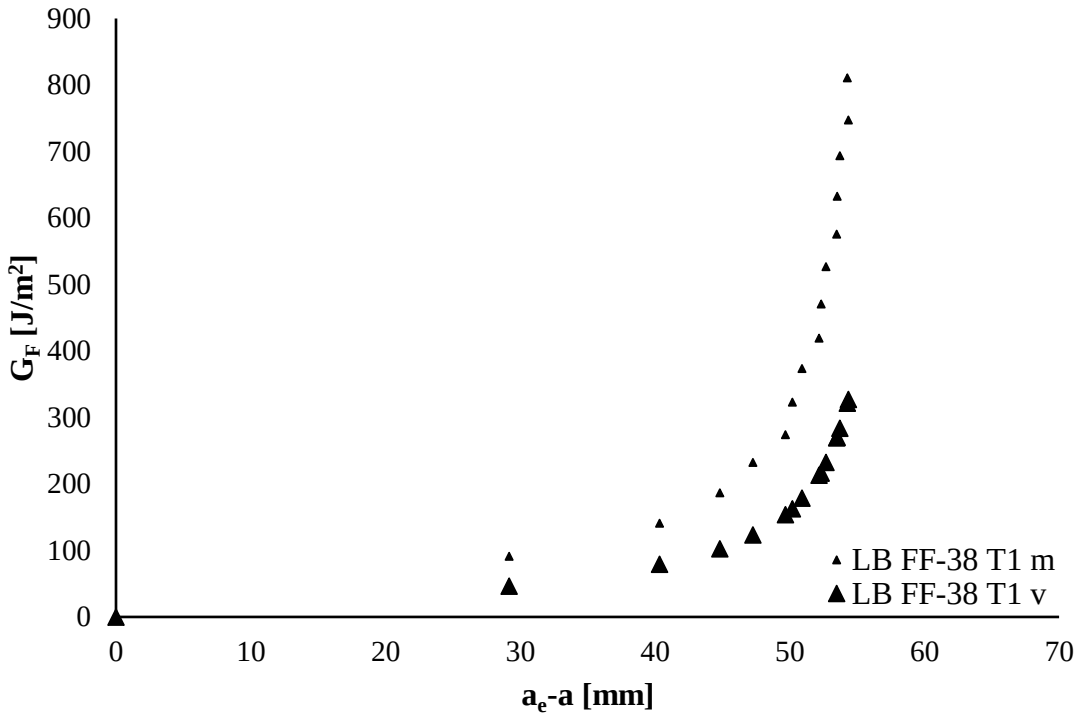
LB REF

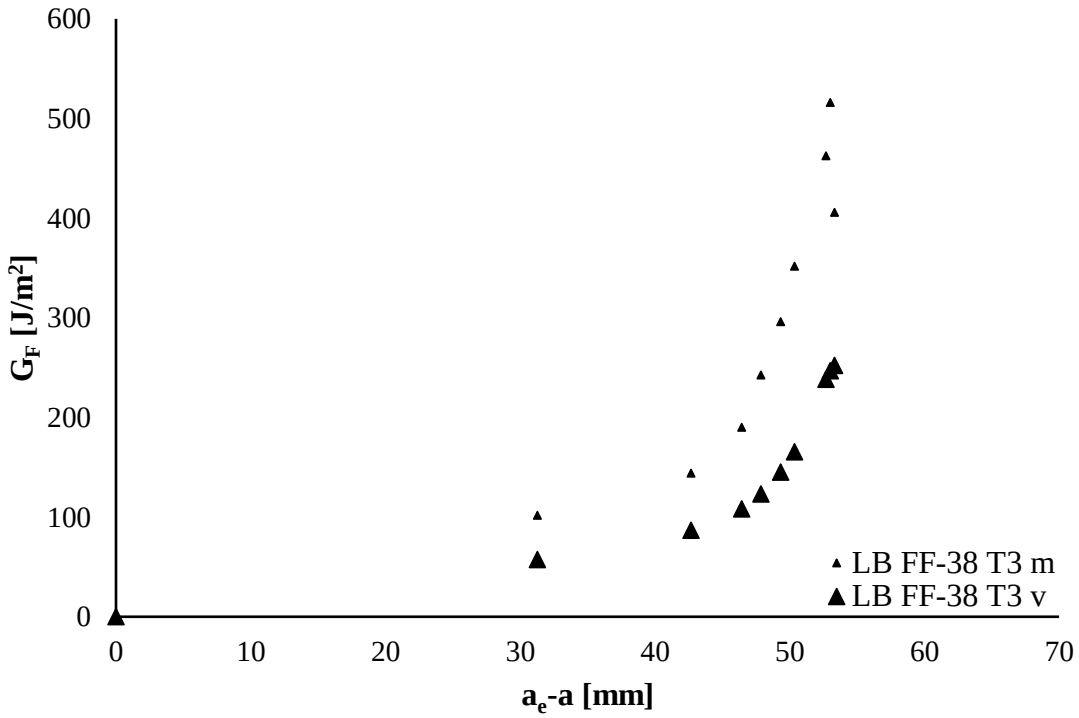




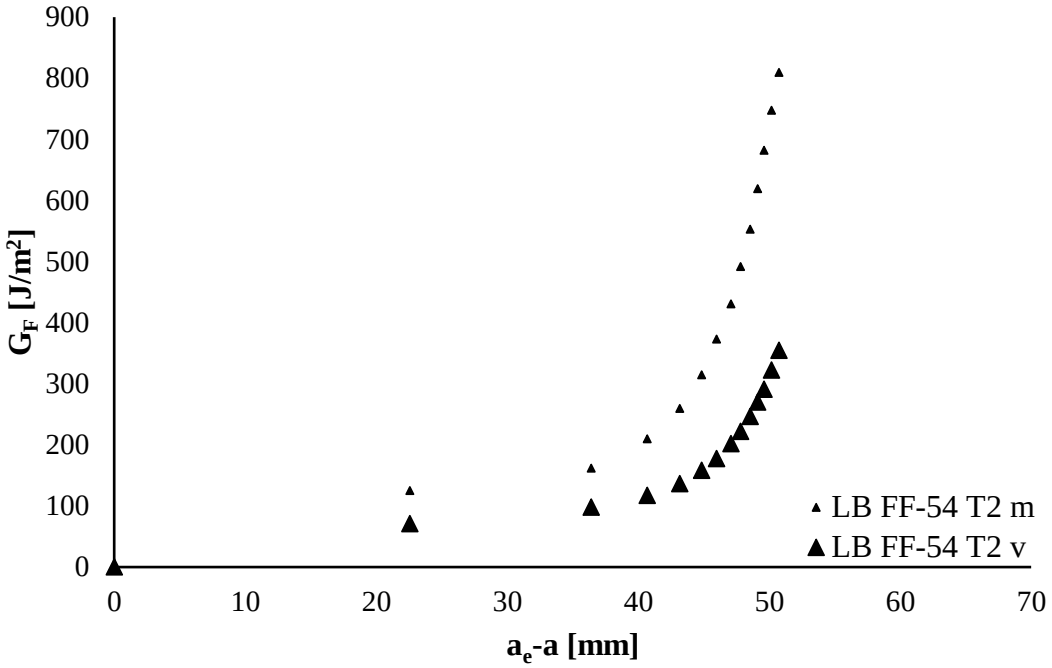

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0
1
2
3
4
5
a_e-a [mm]
LB REF T5 m
LB REF T5 v

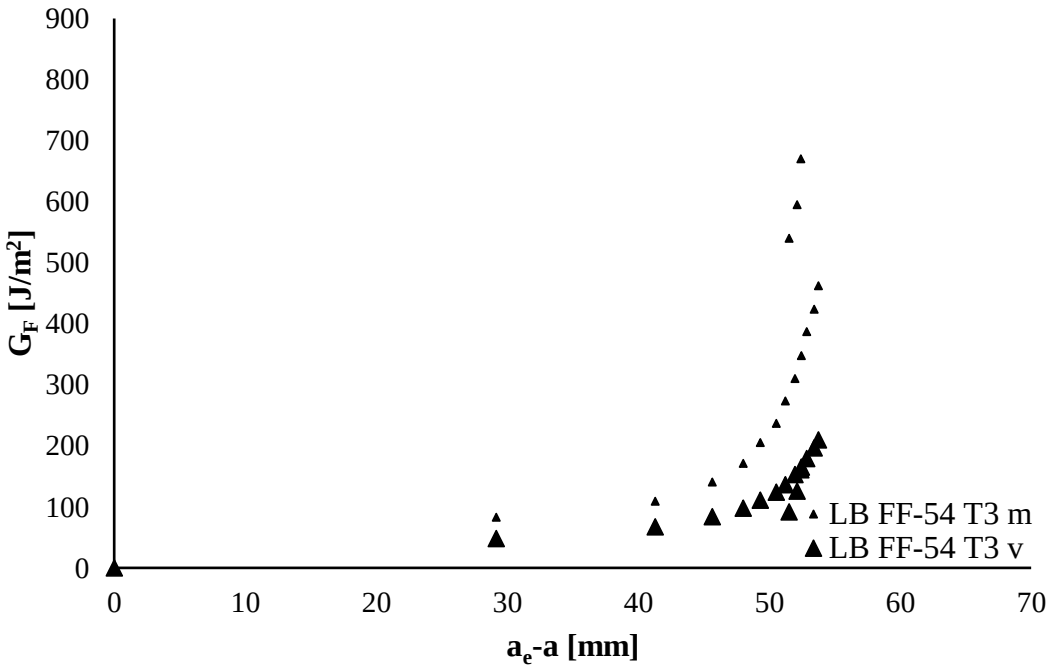
LB FF-38

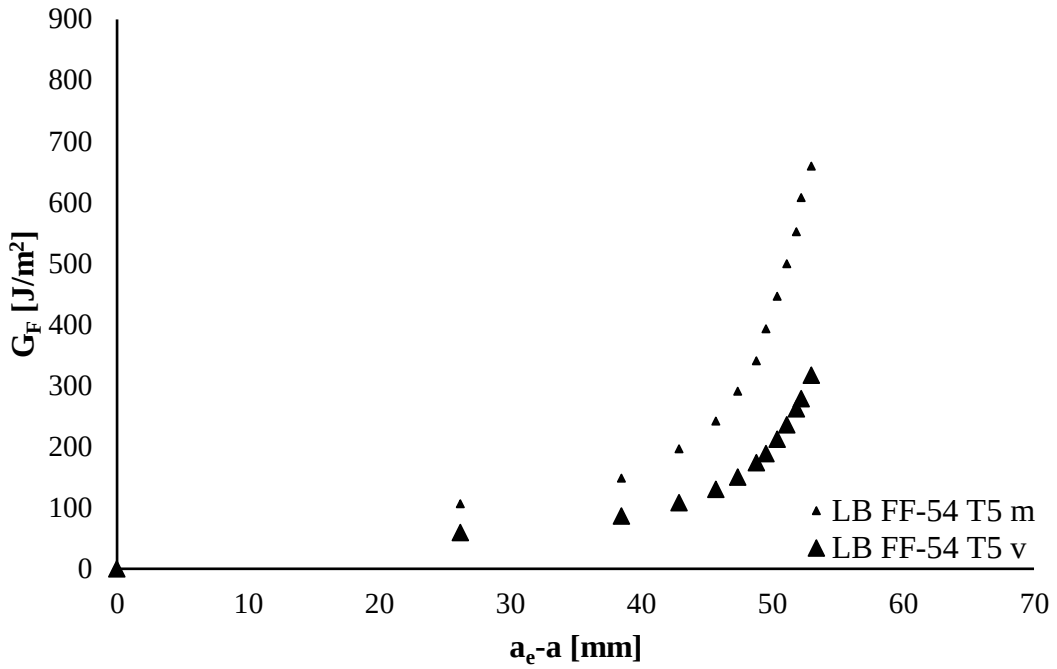

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-38 T1 m
LB FF-38 T1 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-38 T3 m
LB FF-38 T3 v

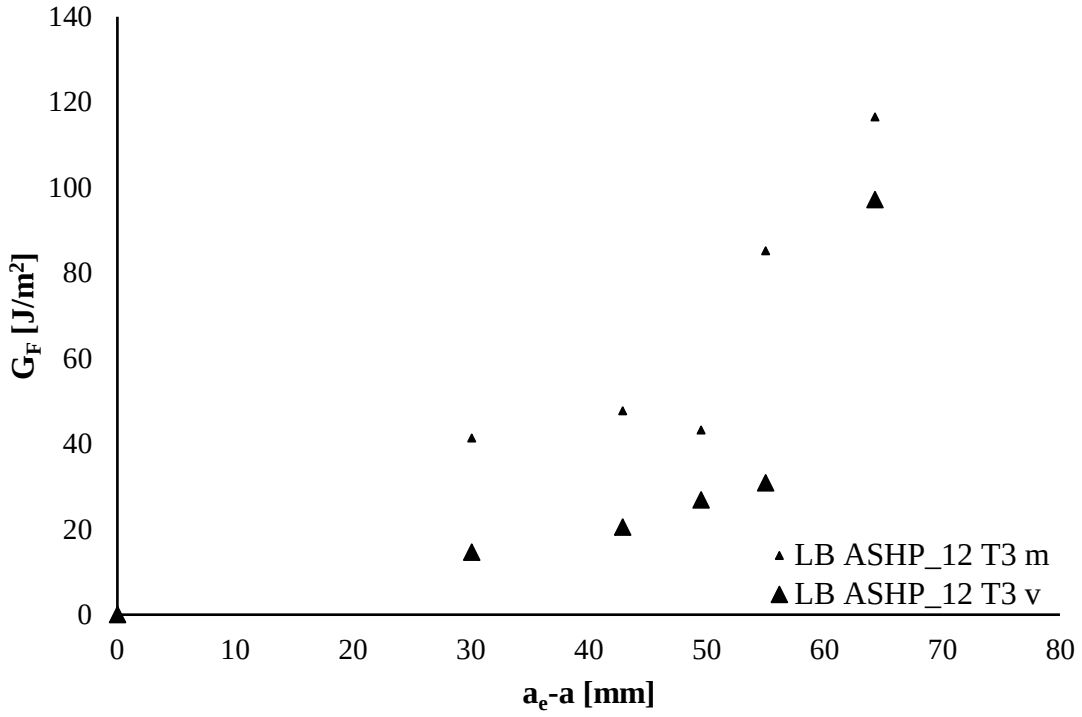
LB FF-54

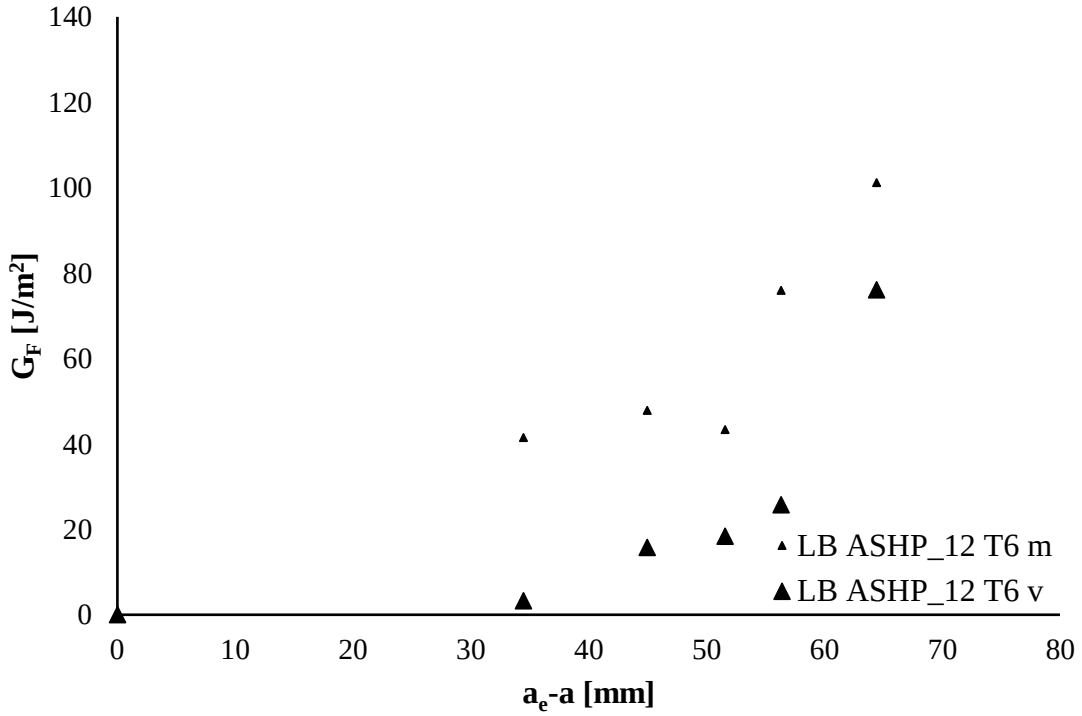

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T2 m
LB FF-54 T2 v


900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T3 m
LB FF-54 T3 v

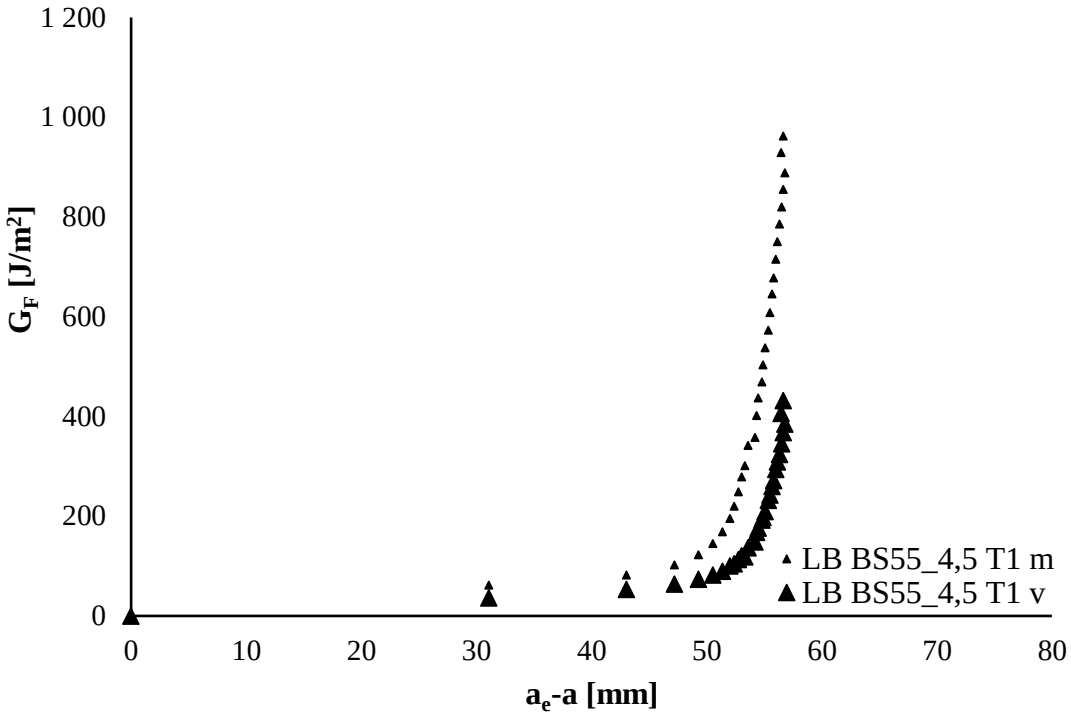

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
LB FF-54 T5 m
LB FF-54 T5 v

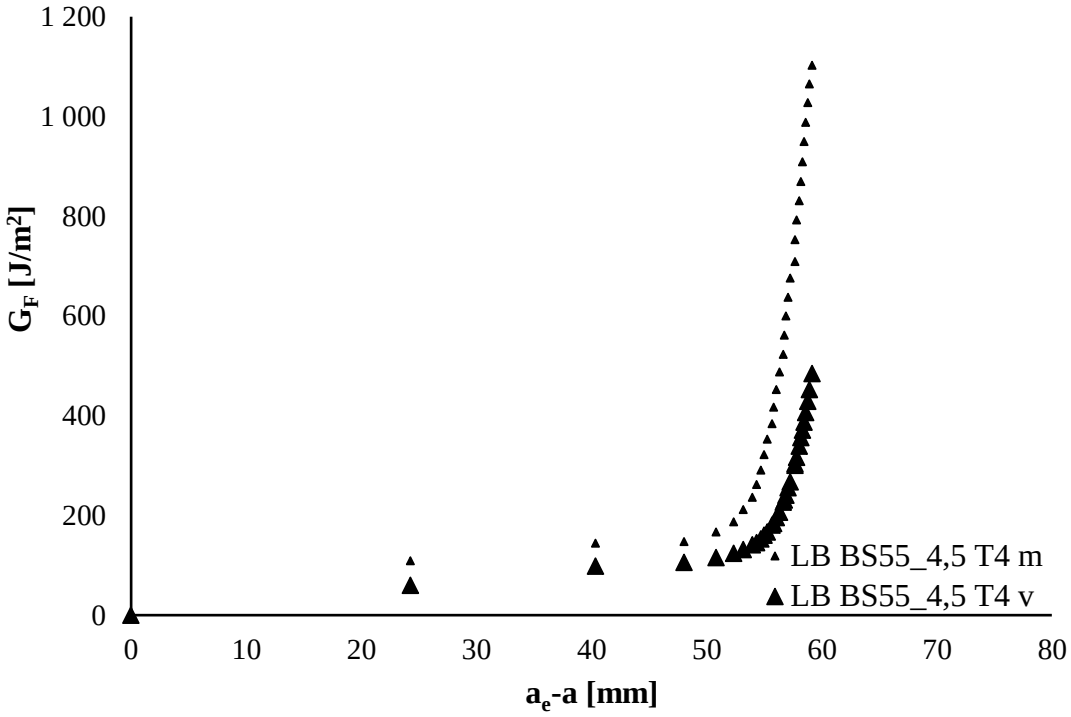
LB ASHP_12

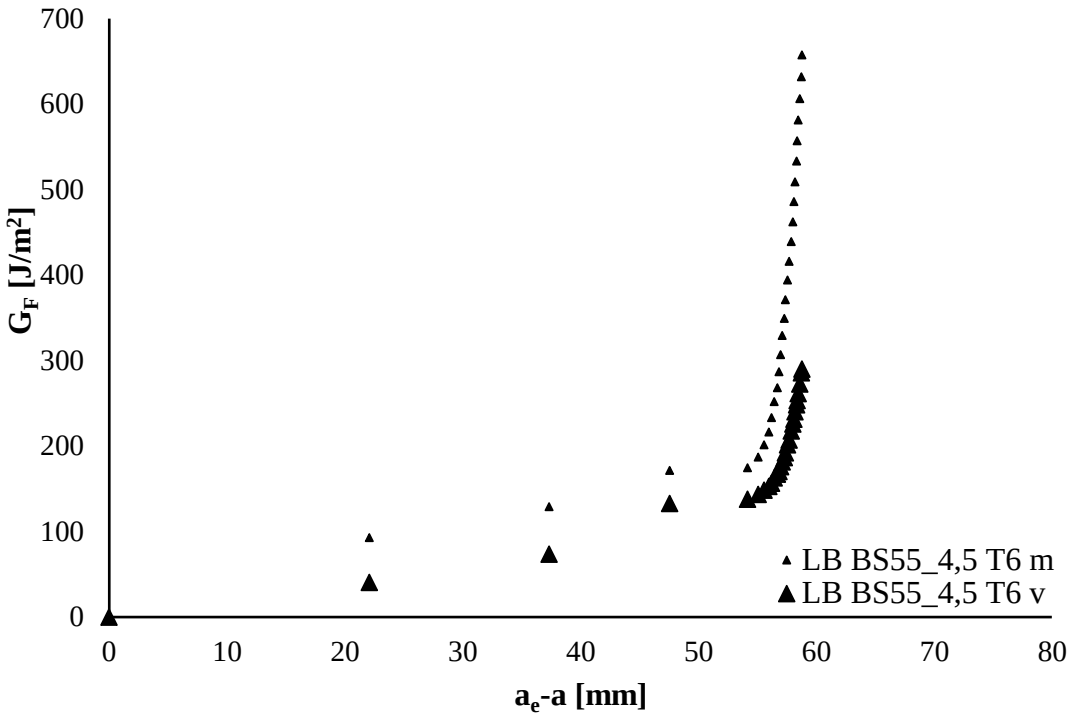

140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB ASHP_12 T3 m
LB ASHP_12 T3 v


140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB ASHP_12 T6 m
LB ASHP_12 T6 v

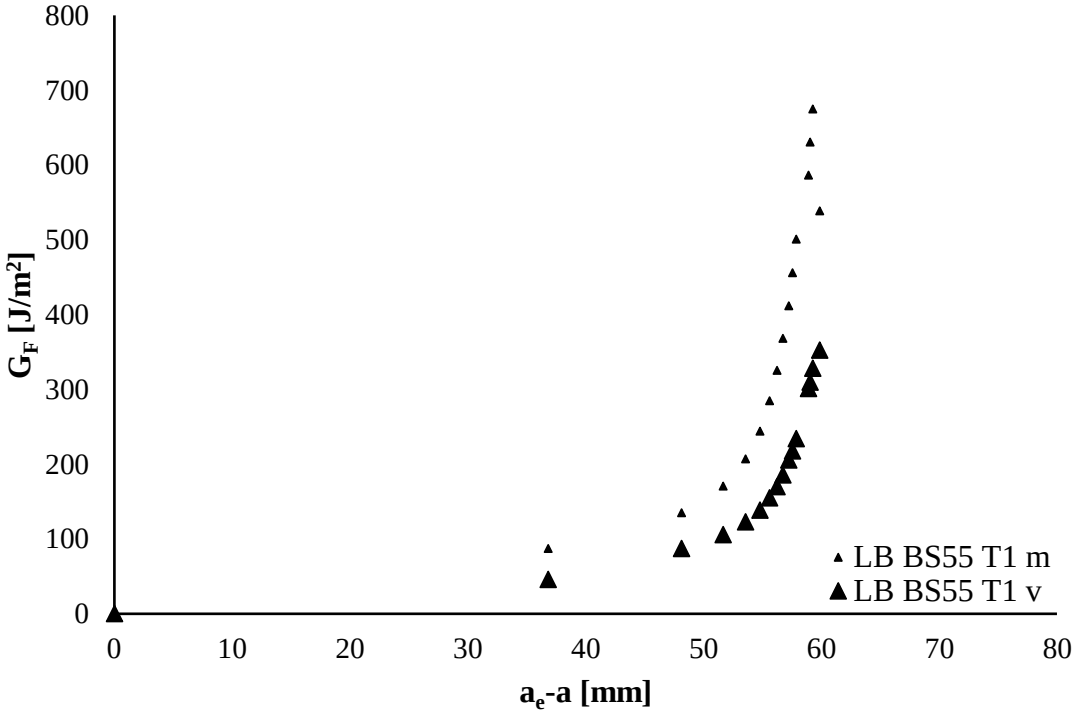
LB BS55_4,5

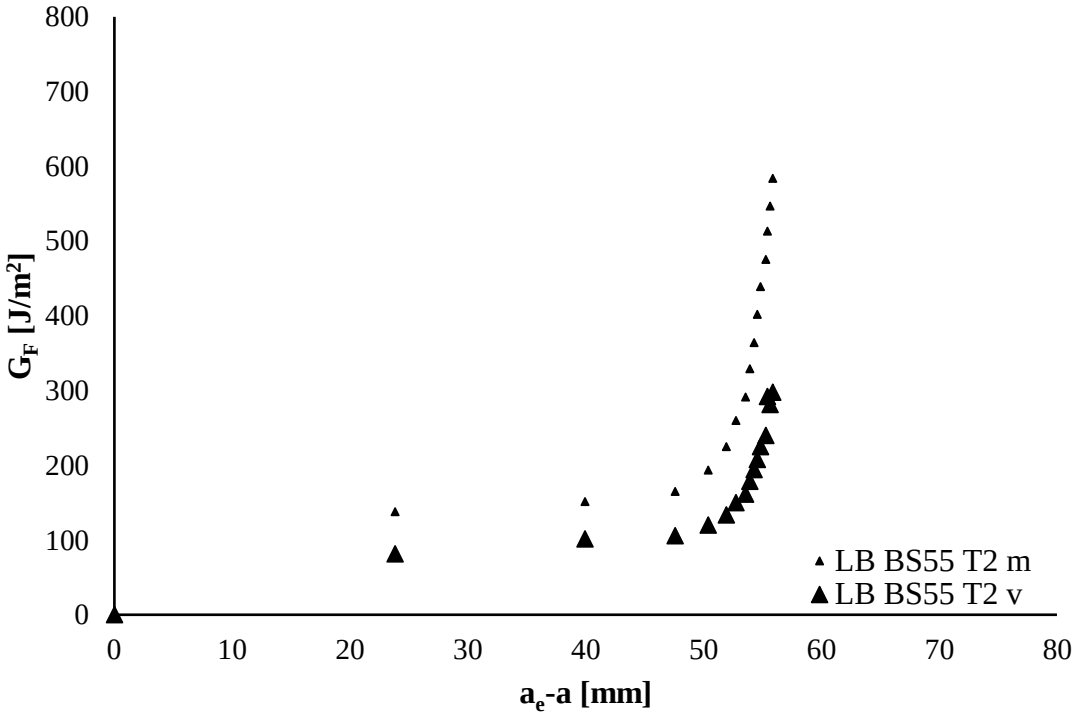

1 200
1 000
800
600
400
200
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T1 m
LB BS55_4,5 T1 v

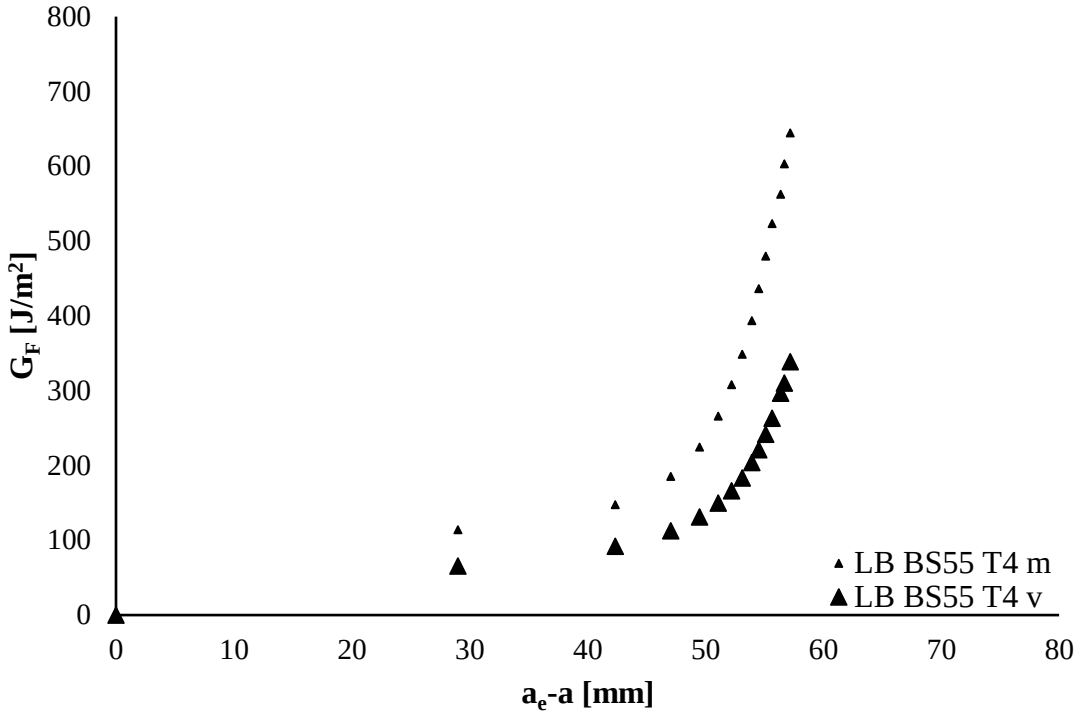

1 200
1 000
800
600
400
200
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T4 m
LB BS55_4,5 T4 v


700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55_4,5 T6 m
LB BS55_4,5 T6 v

LB BS55

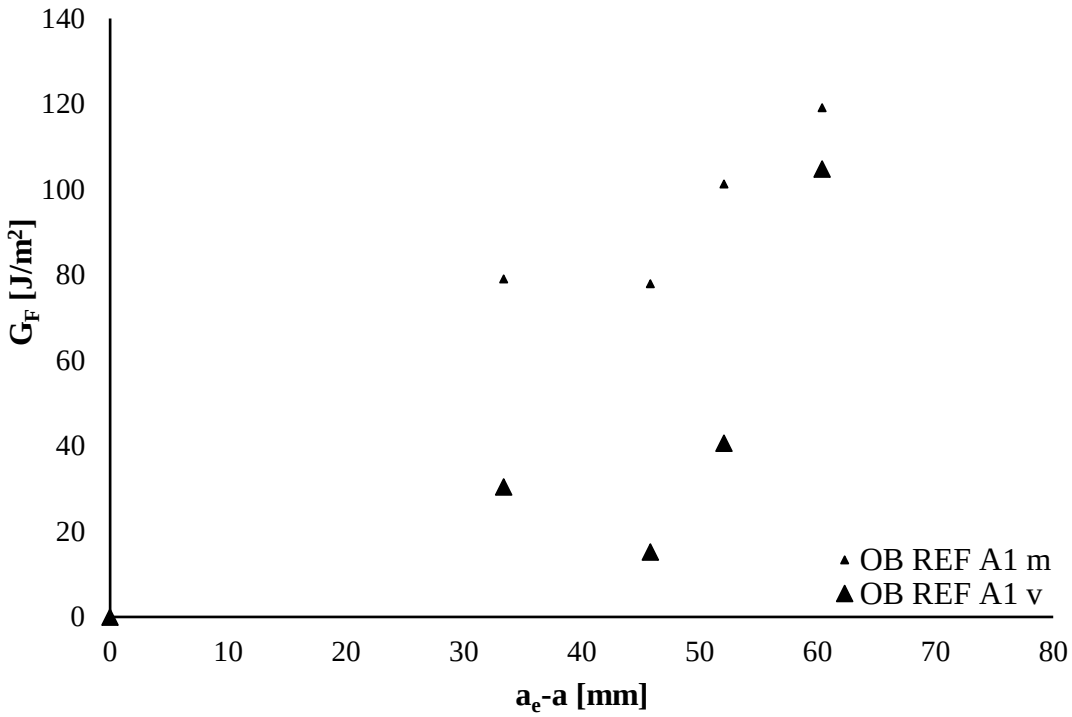

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T1 m
LB BS55 T1 v

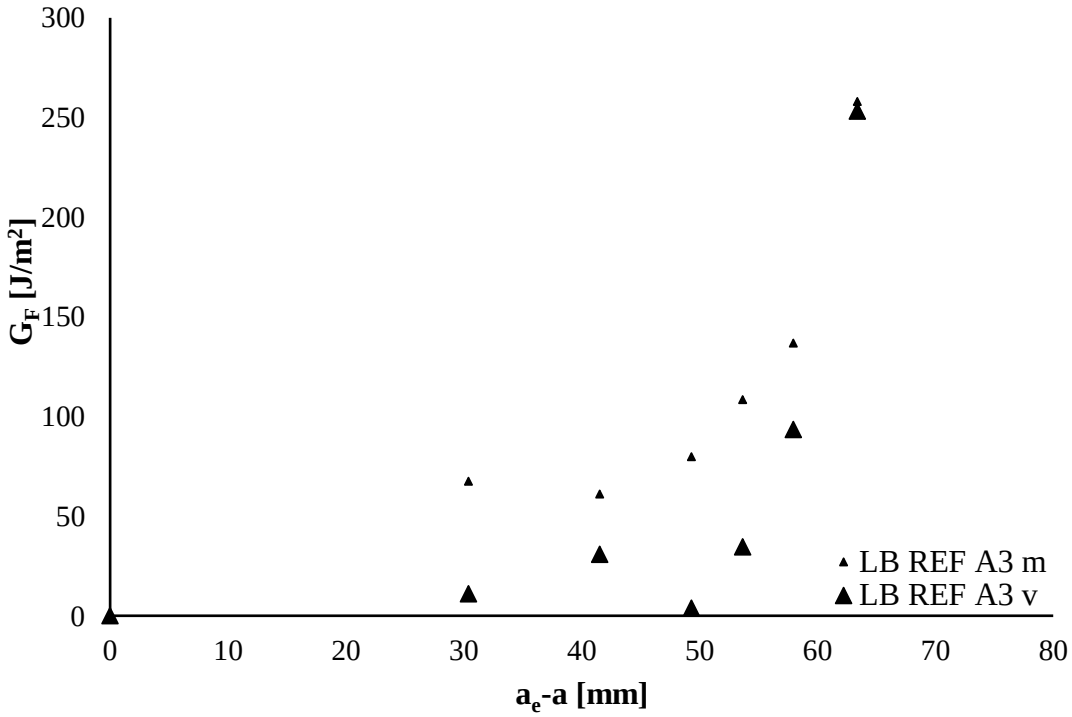

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T2 m
LB BS55 T2 v

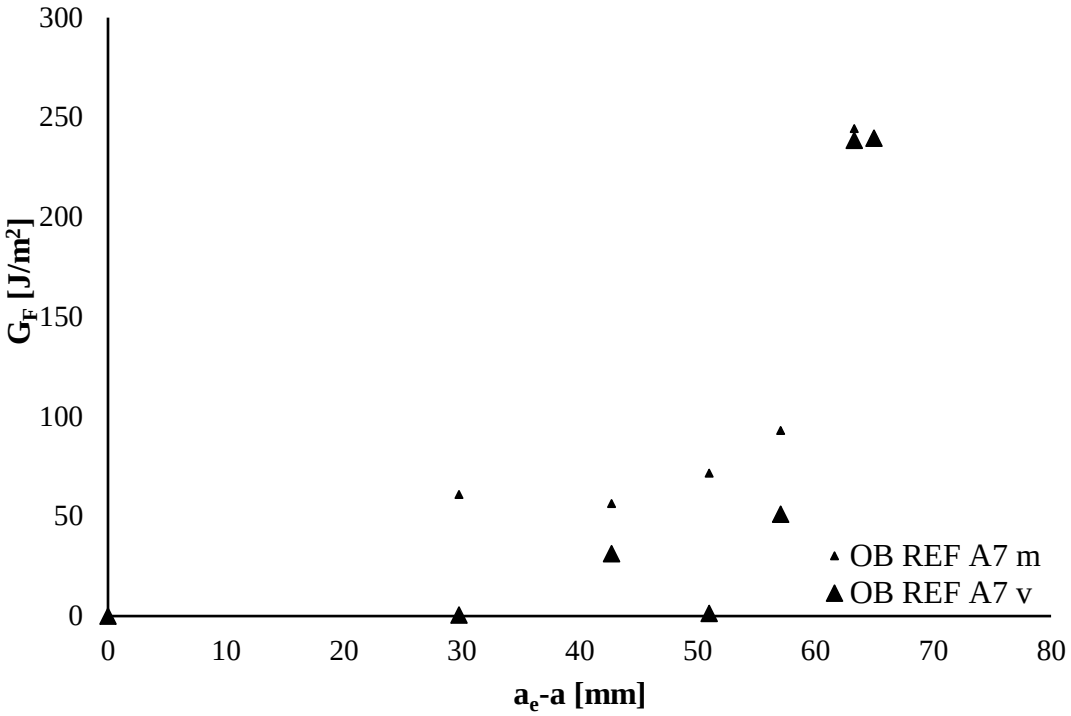

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
LB BS55 T4 m
LB BS55 T4 v

P7.3 Tělesa z obyčejného betonu – *d*

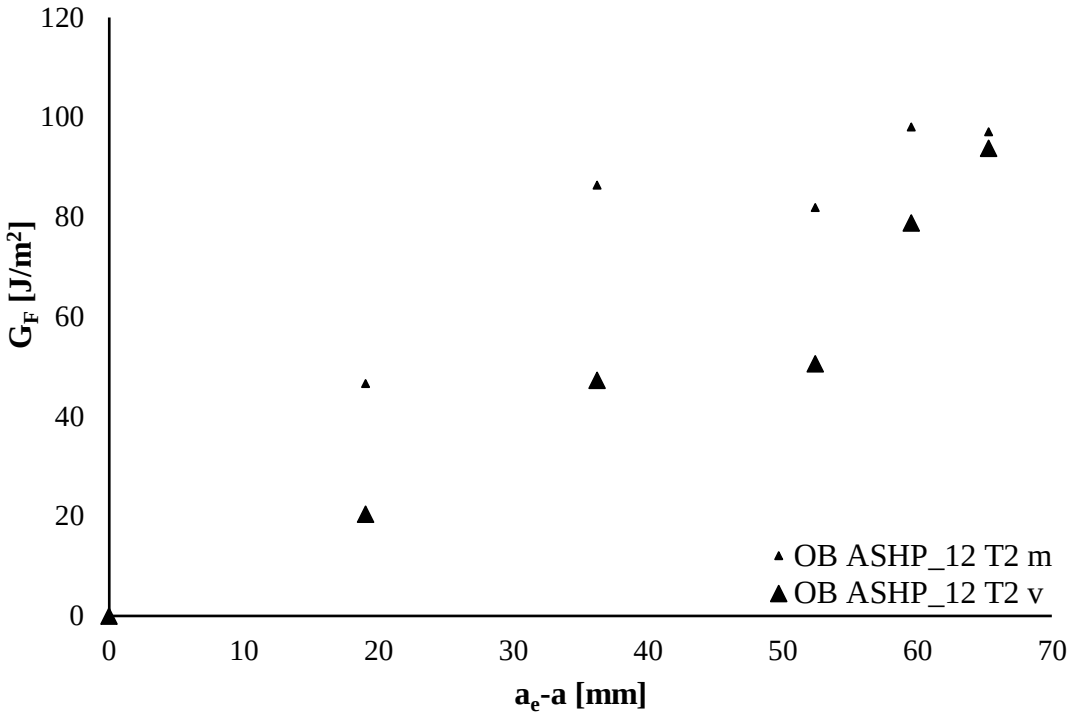
OB REF

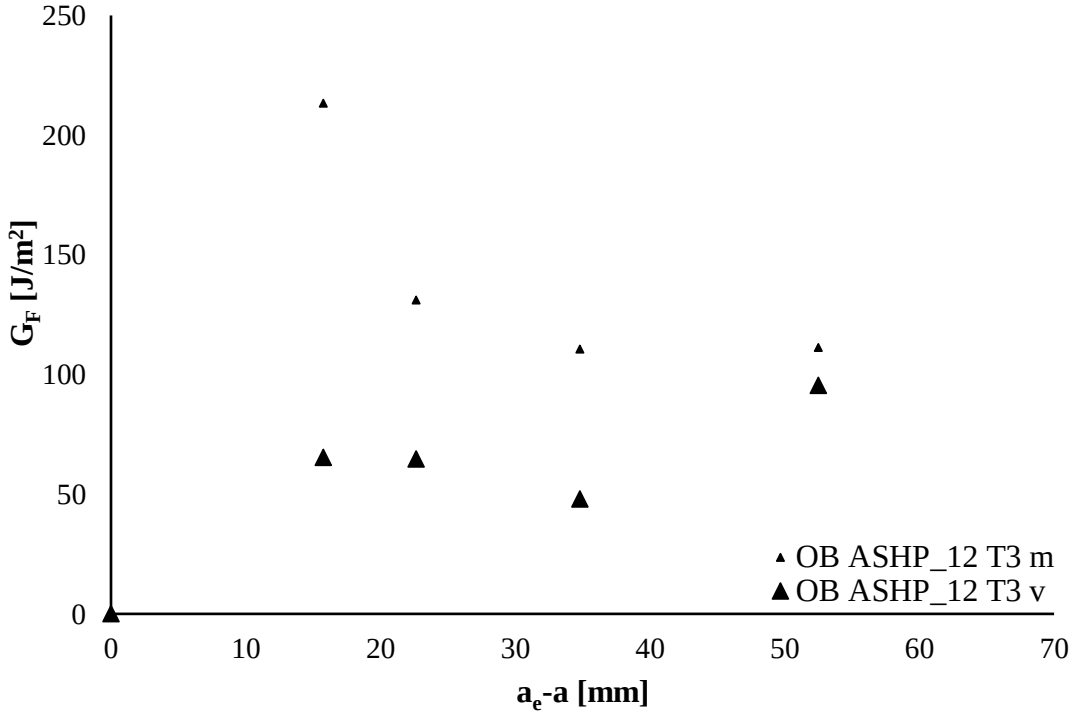


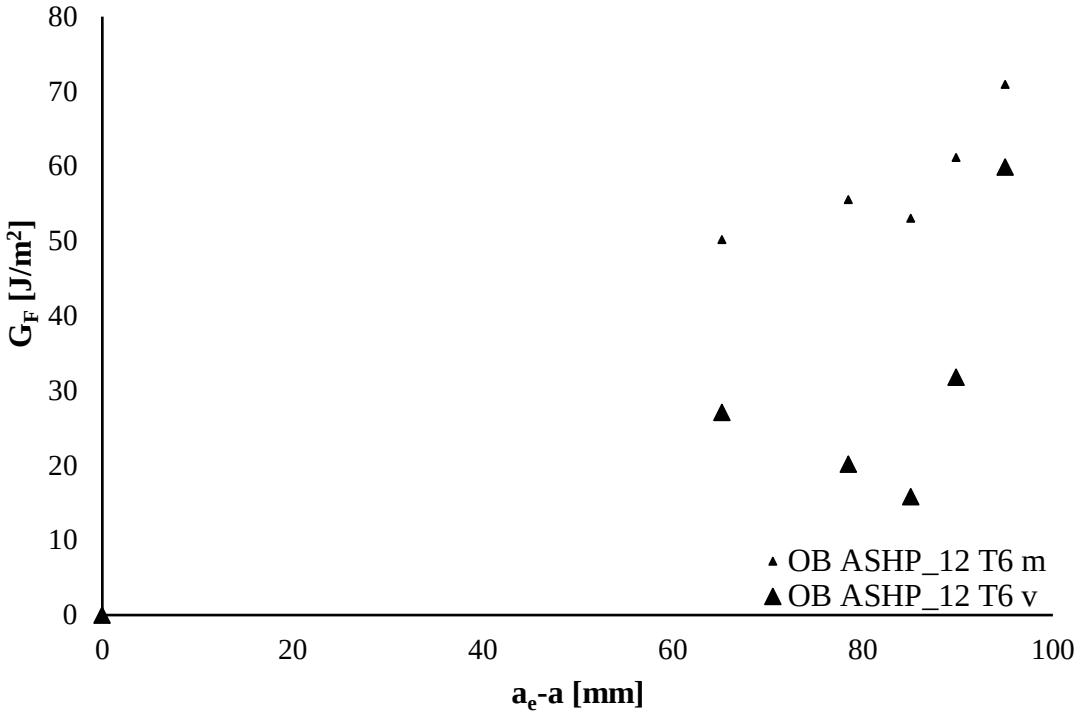



300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
OB REF A7 m
OB REF A7 v

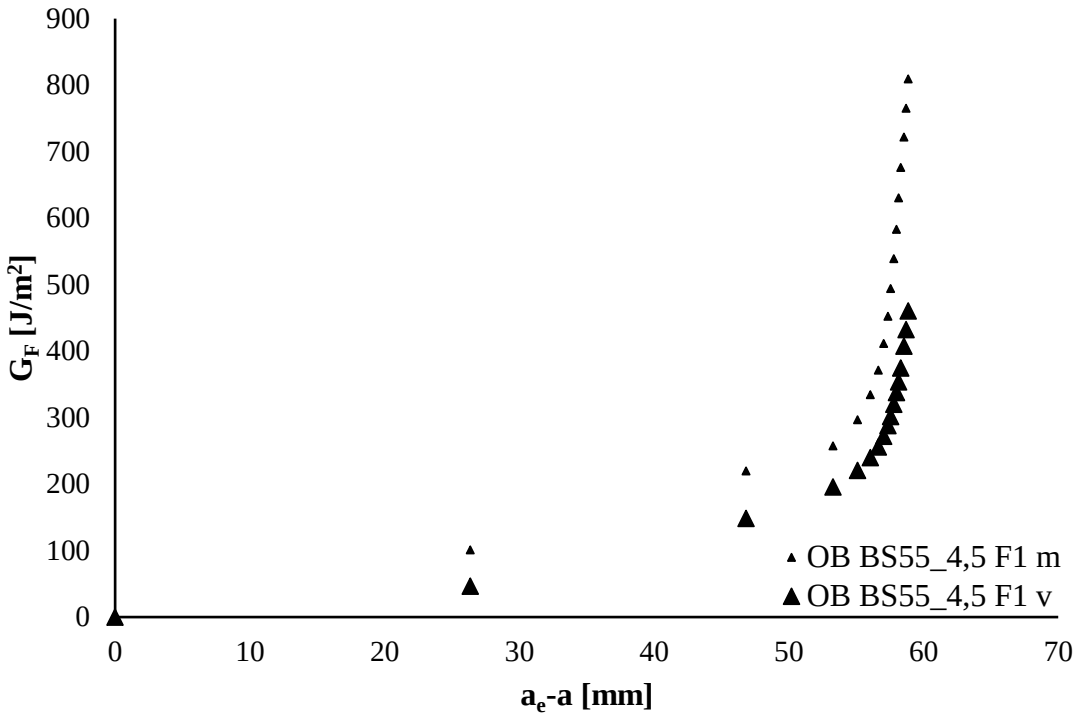
OB ASHP_12

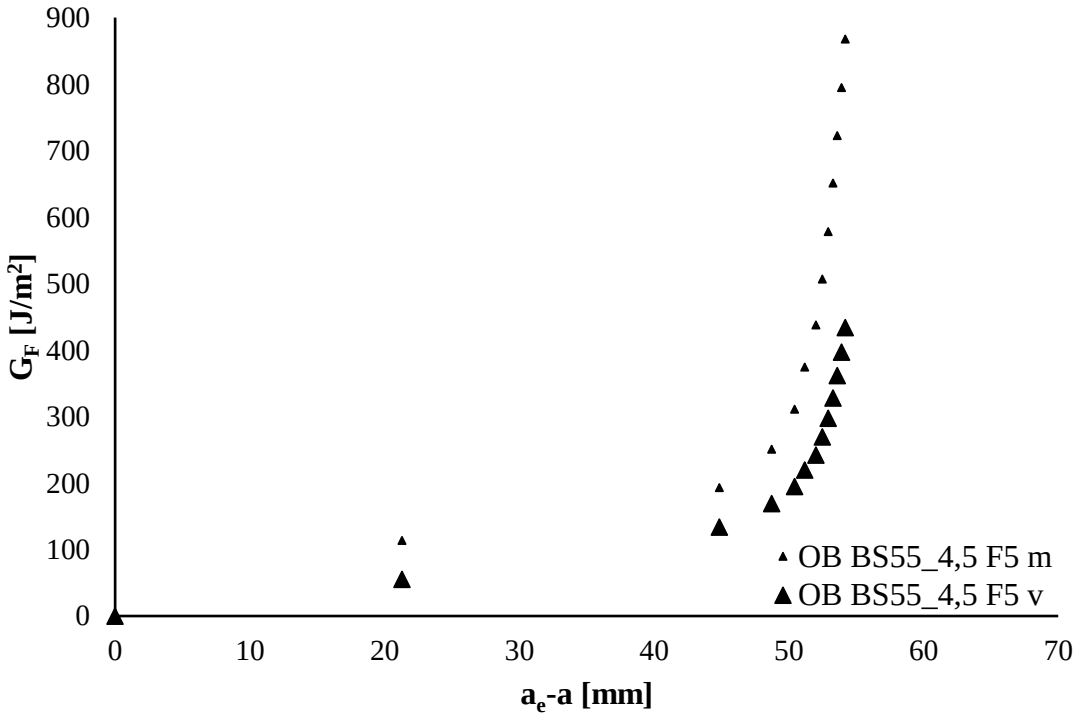

120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T2 m
OB ASHP_12 T2 v

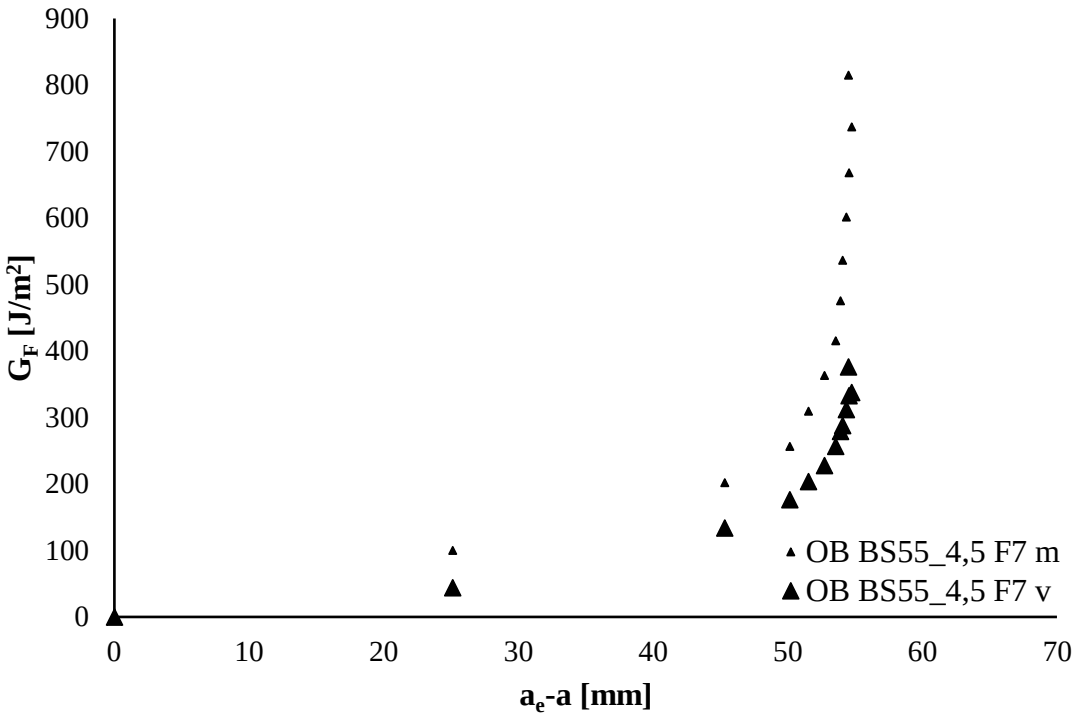

250
200
150
100
50
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T3 m
OB ASHP_12 T3 v


80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0
20
40
60
80
100
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T6 m
OB ASHP_12 T6 v

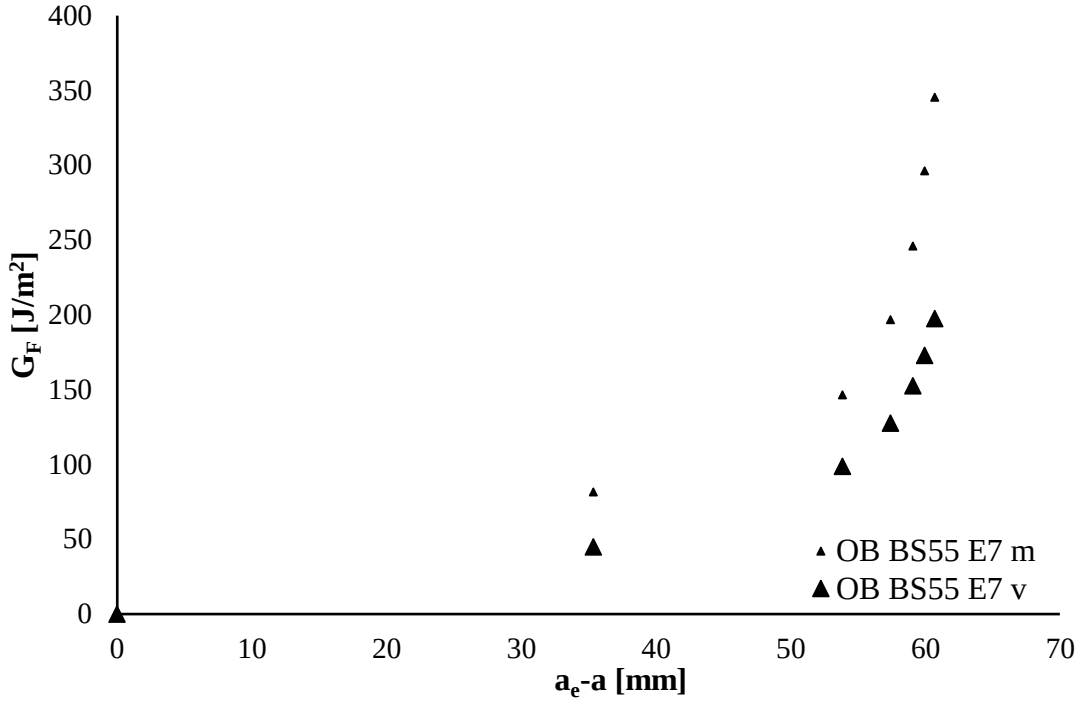
OB BS55_4,5

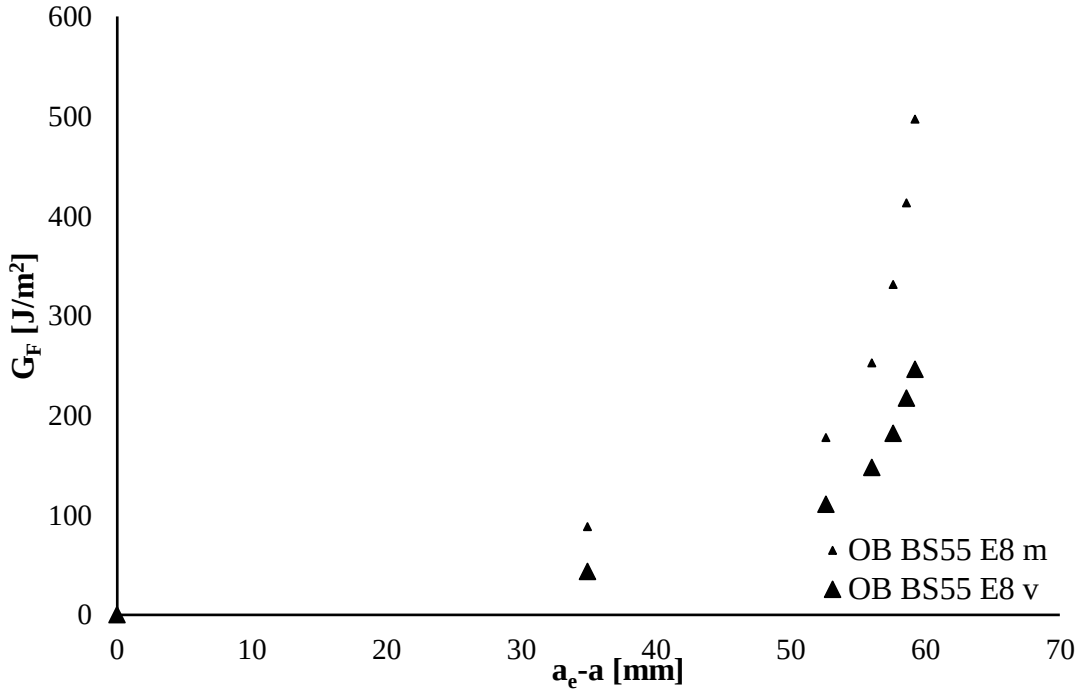

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F1 m
OB BS55_4,5 F1 v

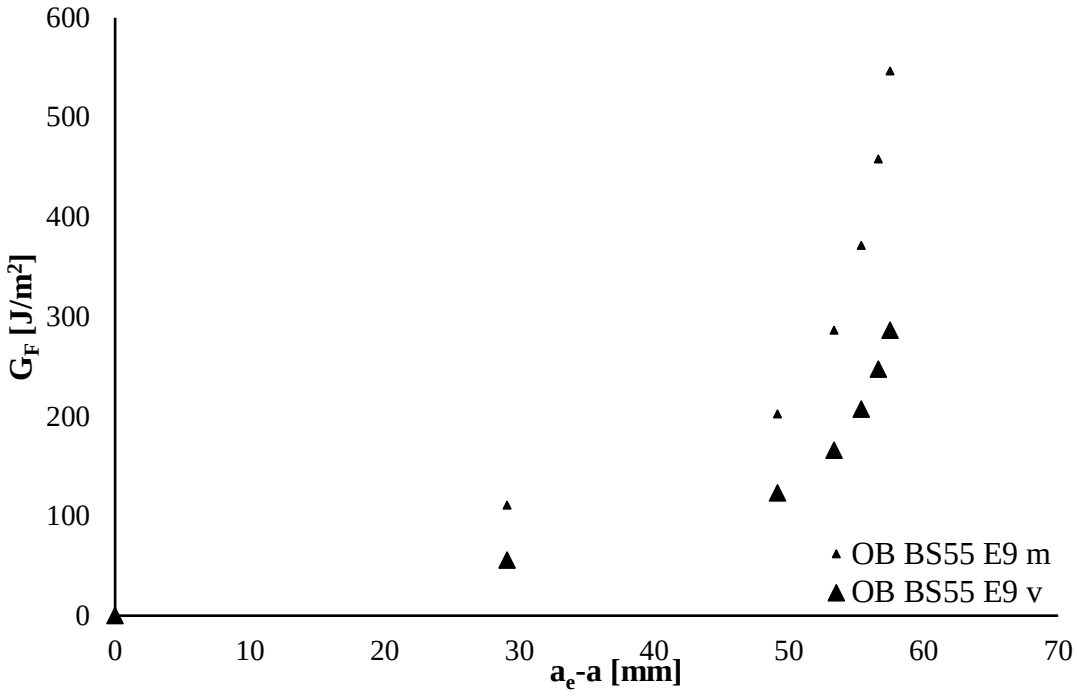

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F5 m
OB BS55_4,5 F5 v


900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F7 m
OB BS55_4,5 F7 v

OB BS55

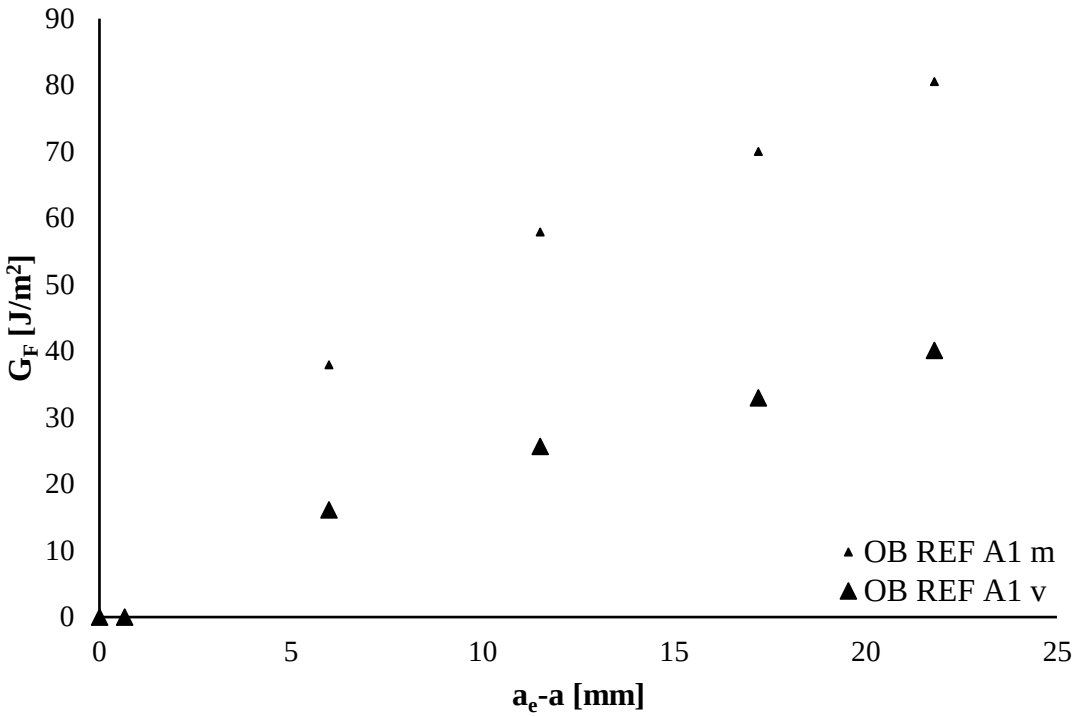

400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 E7 m
OB BS55 E7 v

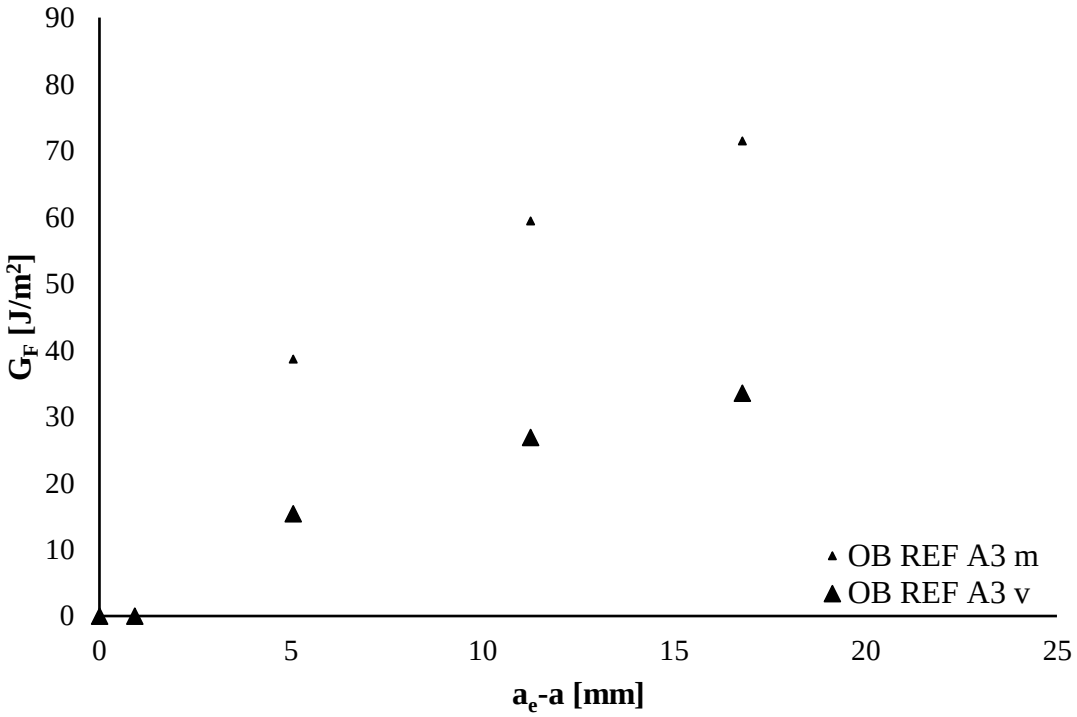

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 E8 m
OB BS55 E8 v

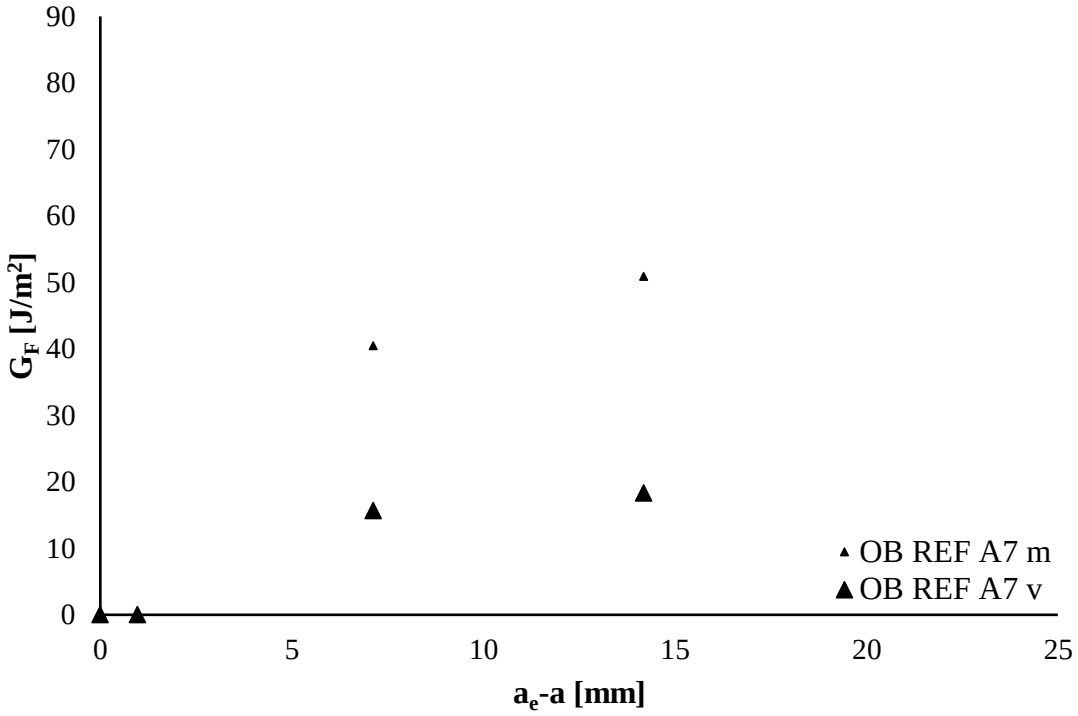

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 E9 m
OB BS55 E9 v

P7.4 Tělesa z obyčejného betonu – $CMOD$

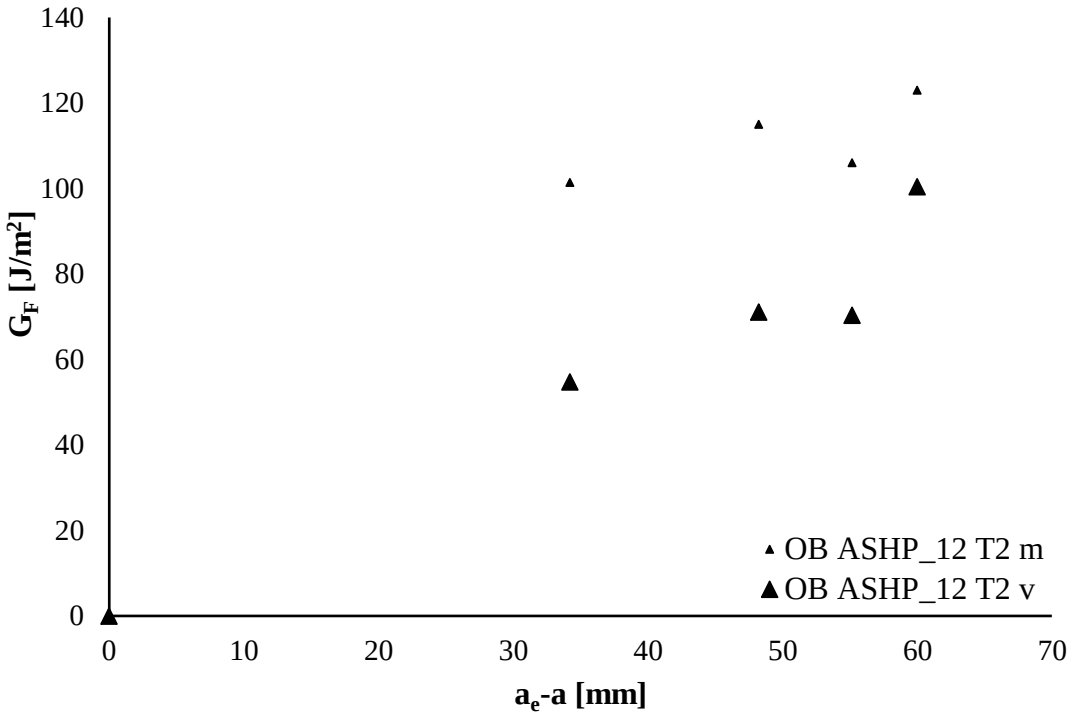
OB REF

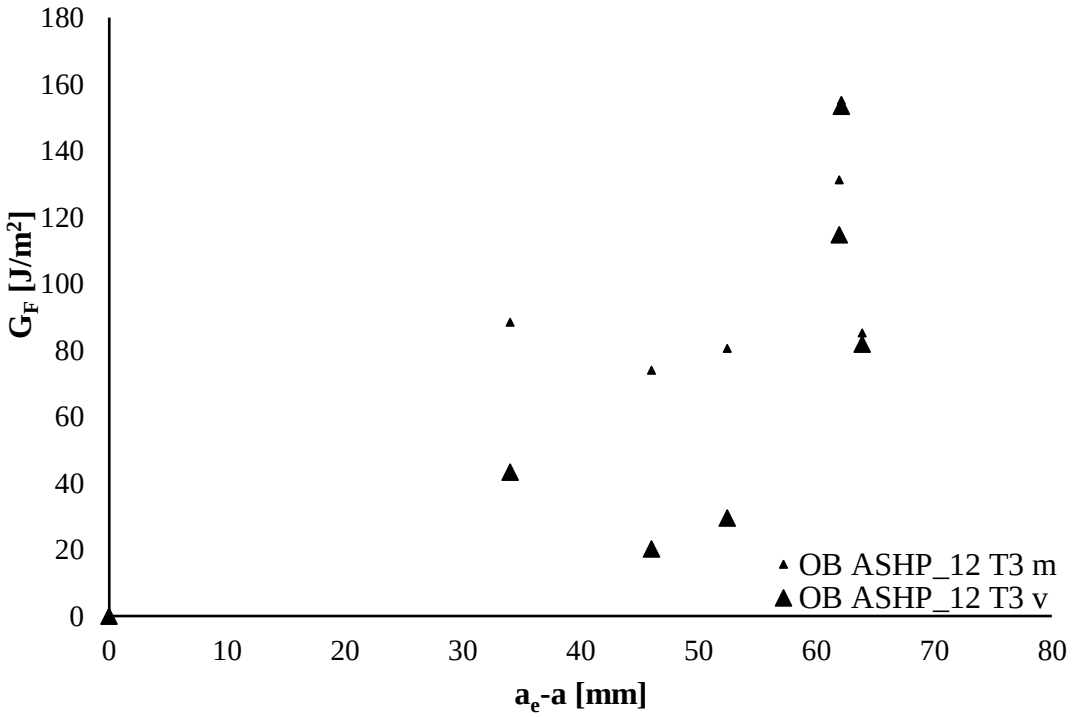


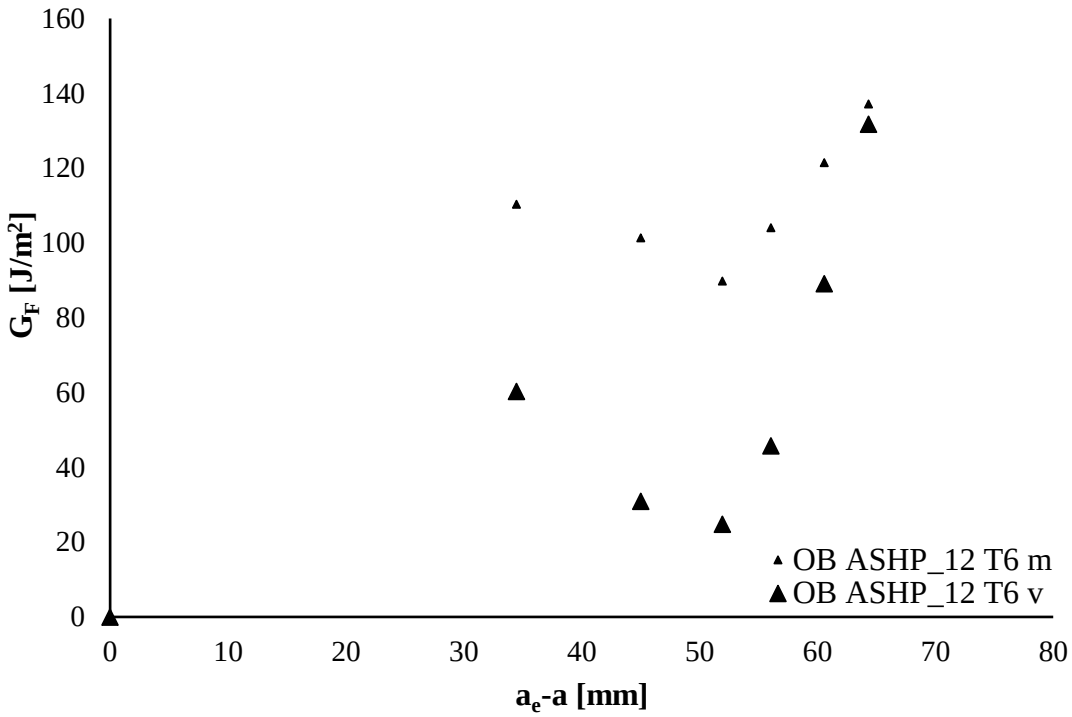



90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0
5
10
15
20
25
a_e-a [mm]
OB REF A7 m
OB REF A7 v

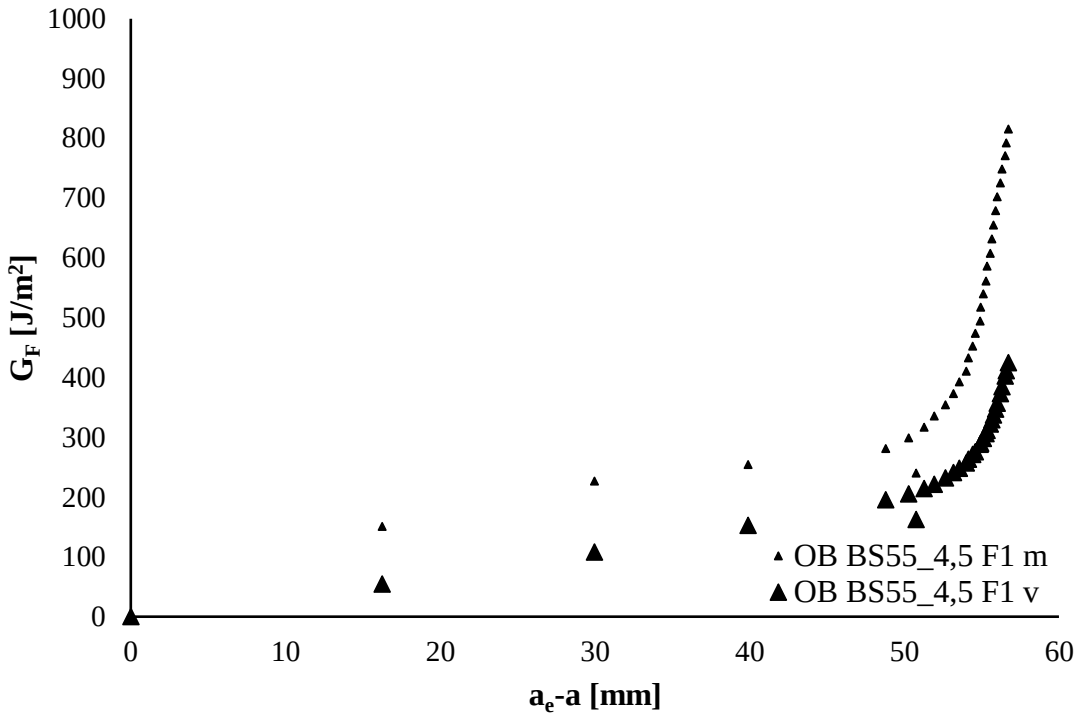
OB ASHP_12

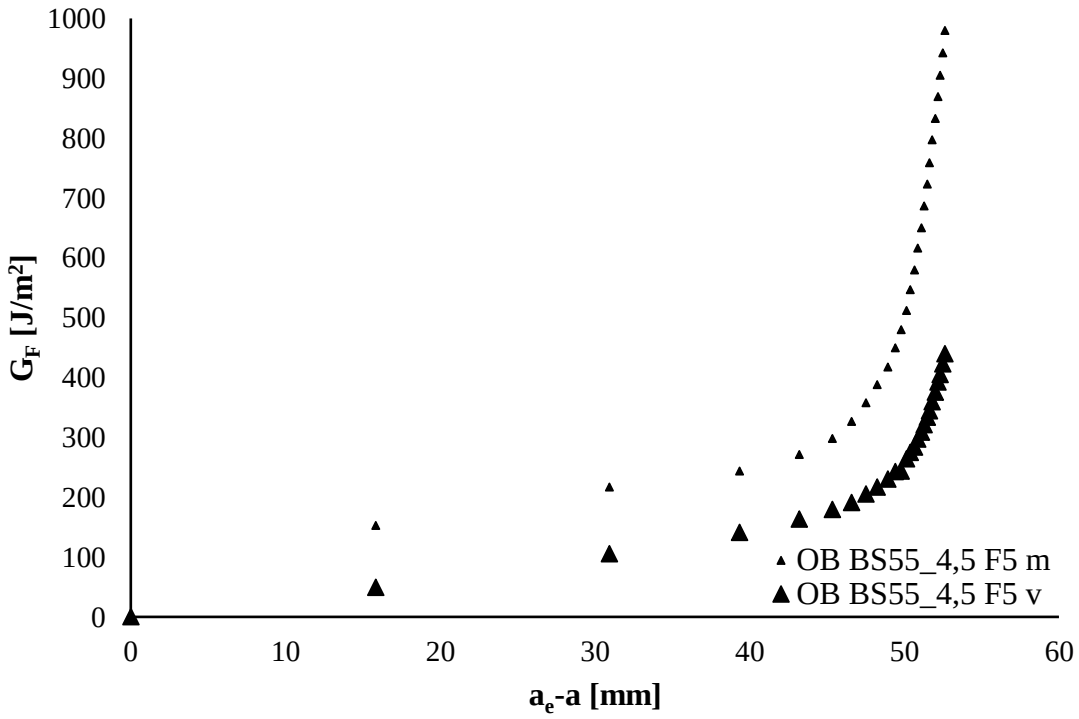

140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T2 m
OB ASHP_12 T2 v

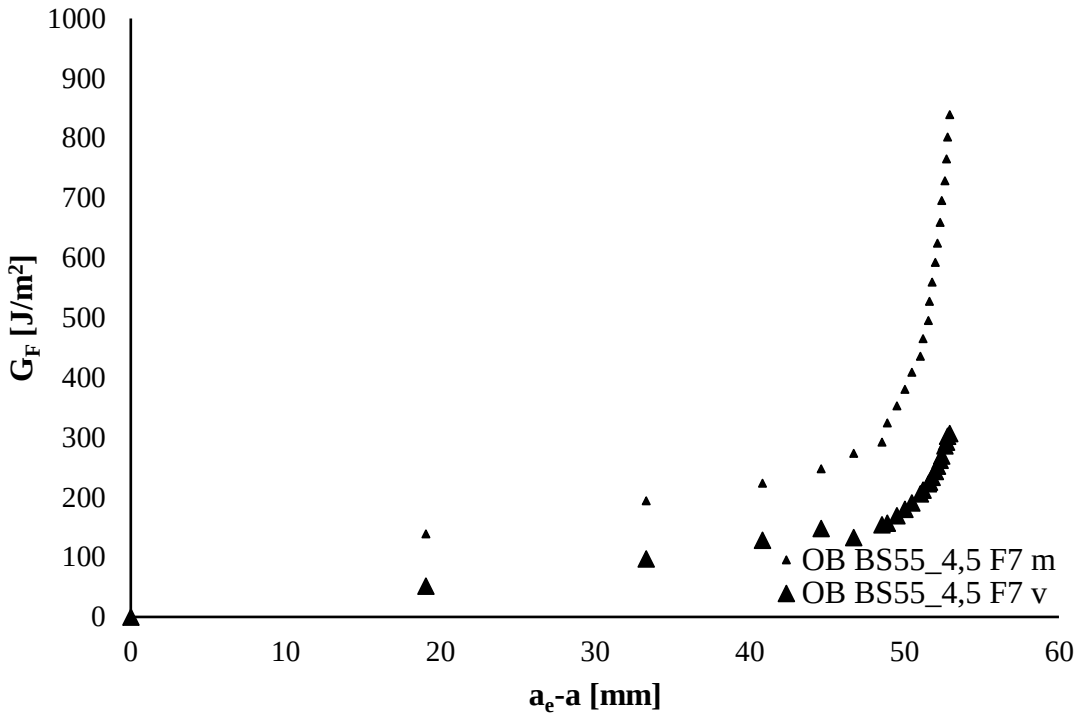

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T3 m
OB ASHP_12 T3 v


160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
a_e-a [mm]
OB ASHP_12 T6 m
OB ASHP_12 T6 v

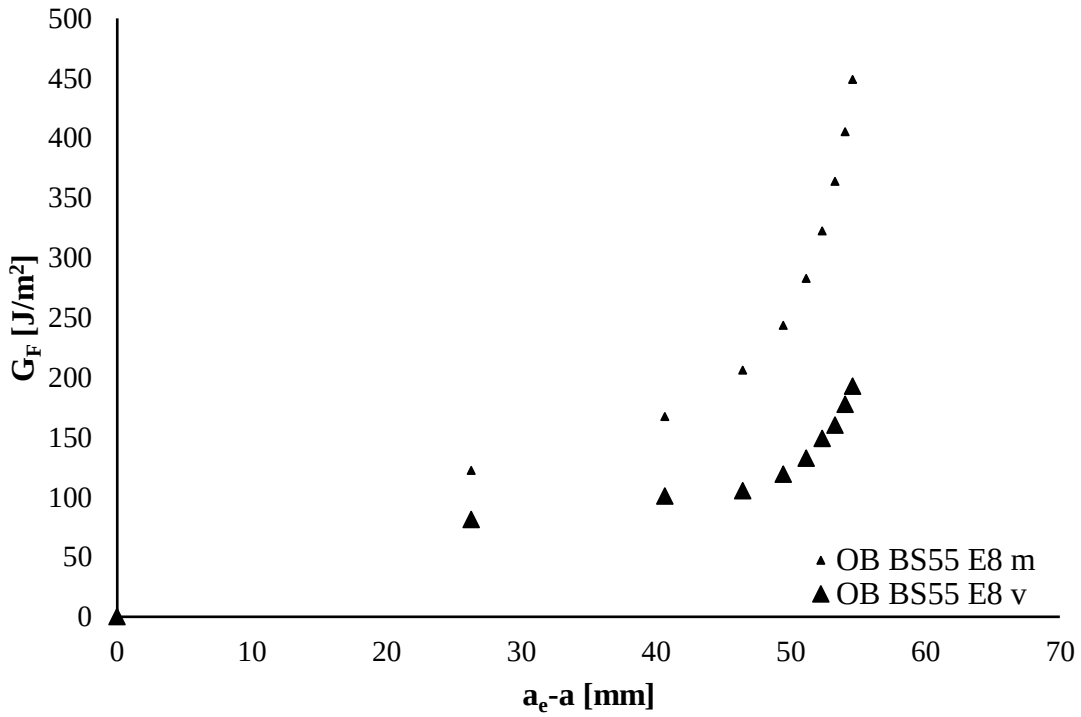
OB BS55_4,5

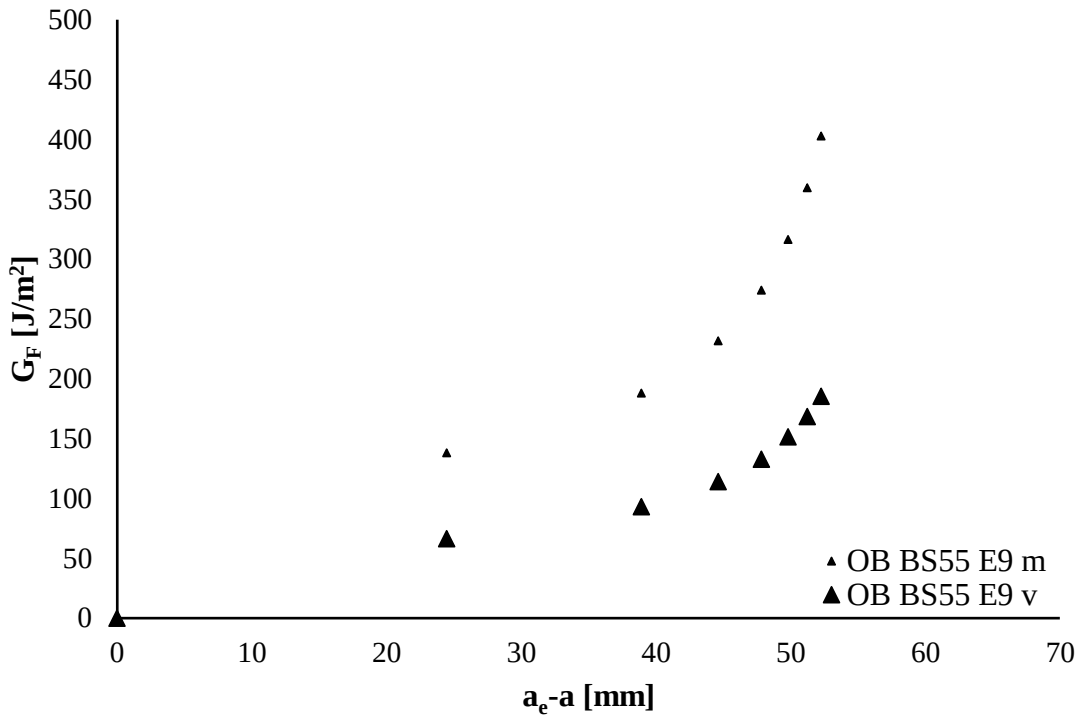

1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F1 m
OB BS55_4,5 F1 v


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F5 m
OB BS55_4,5 F5 v


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
10
20
30
40
50
60
a_e-a [mm]
OB BS55_4,5 F7 m
OB BS55_4,5 F7 v

OB BS55

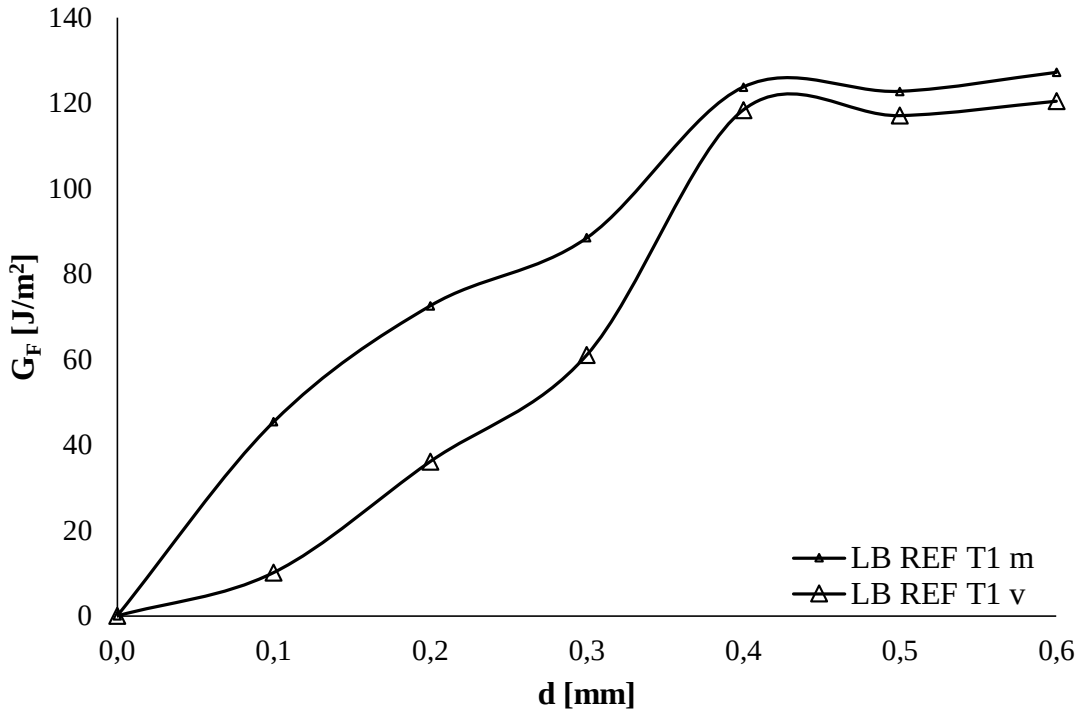

500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 E8 m
OB BS55 E8 v

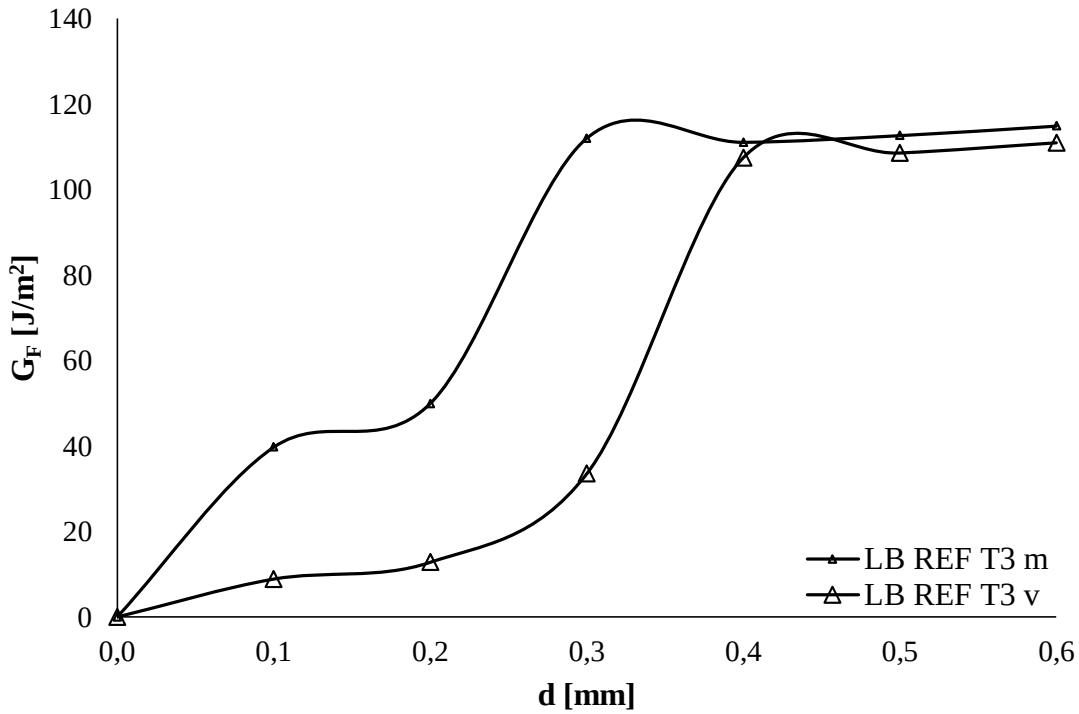

500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m²]
0
10
20
30
40
50
60
70
a_e-a [mm]
OB BS55 E9 m
OB BS55 E9 v

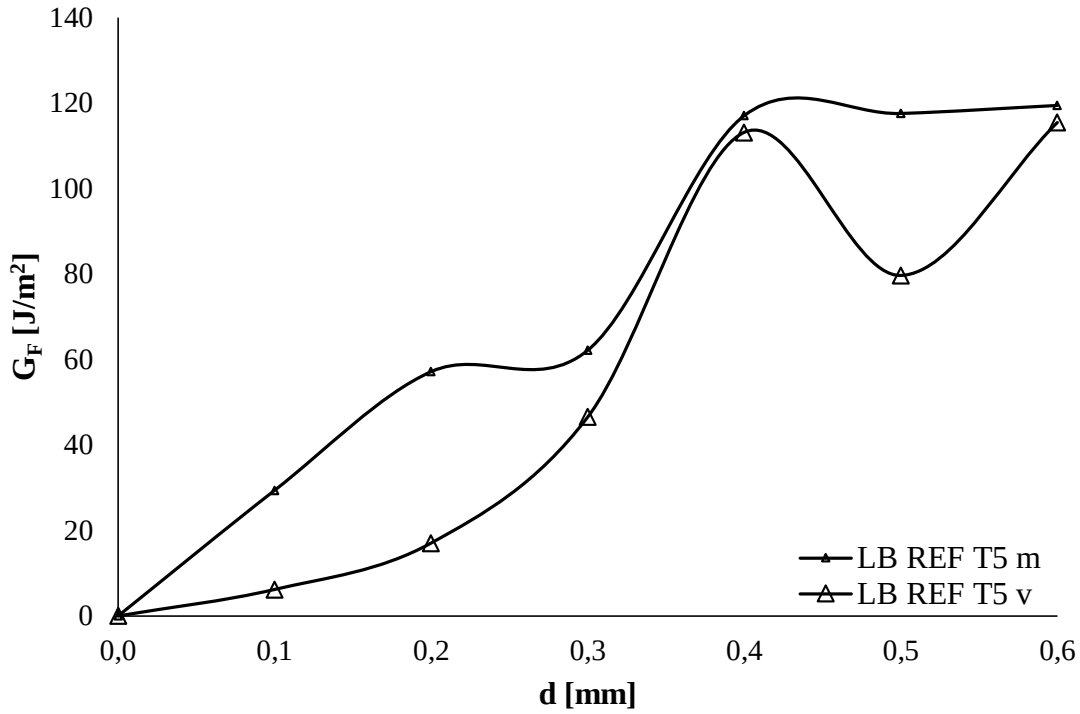
P8. Lomová energie zkušebních těles

P8.1 Tělesa z lehkého betonu – *d*

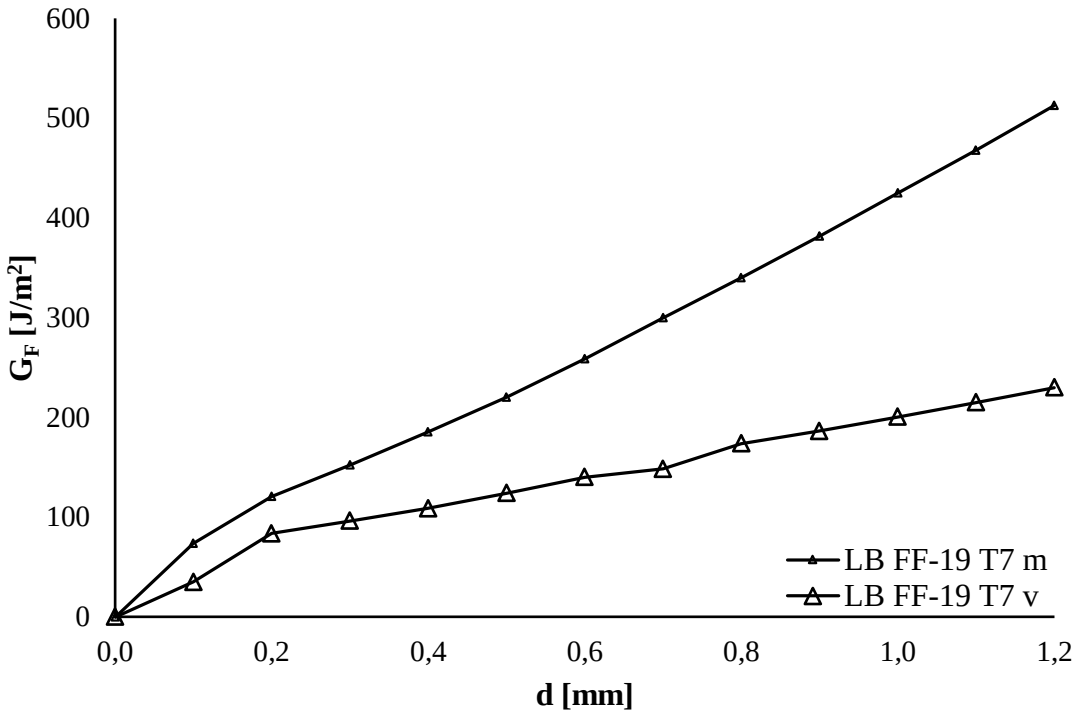
LB REF

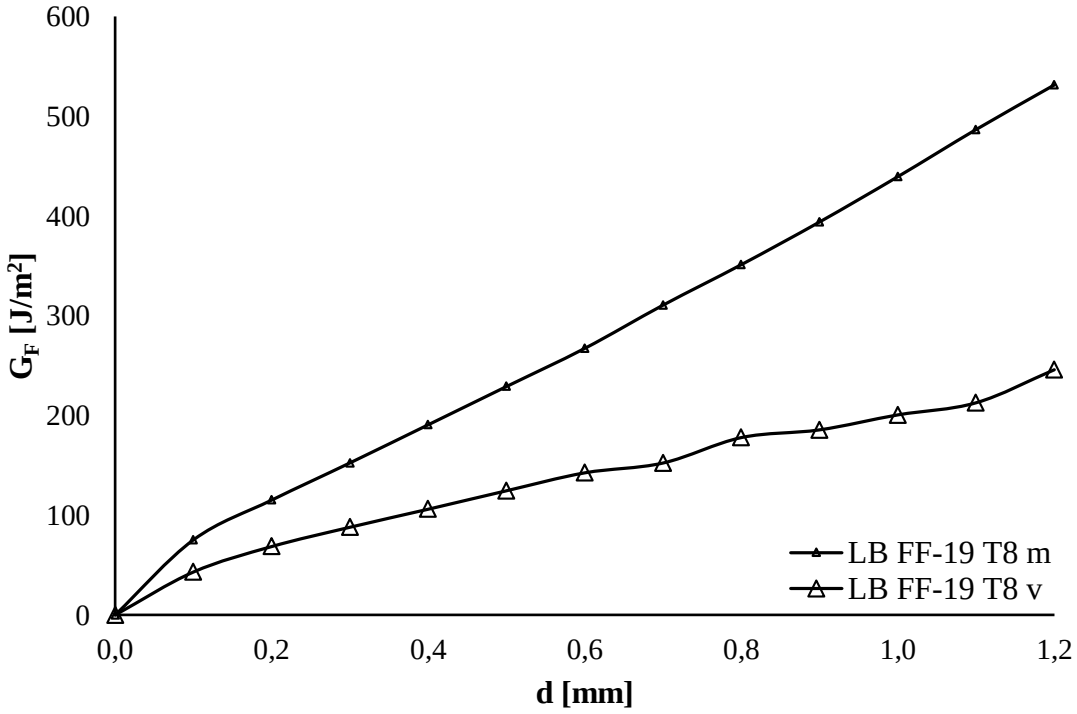


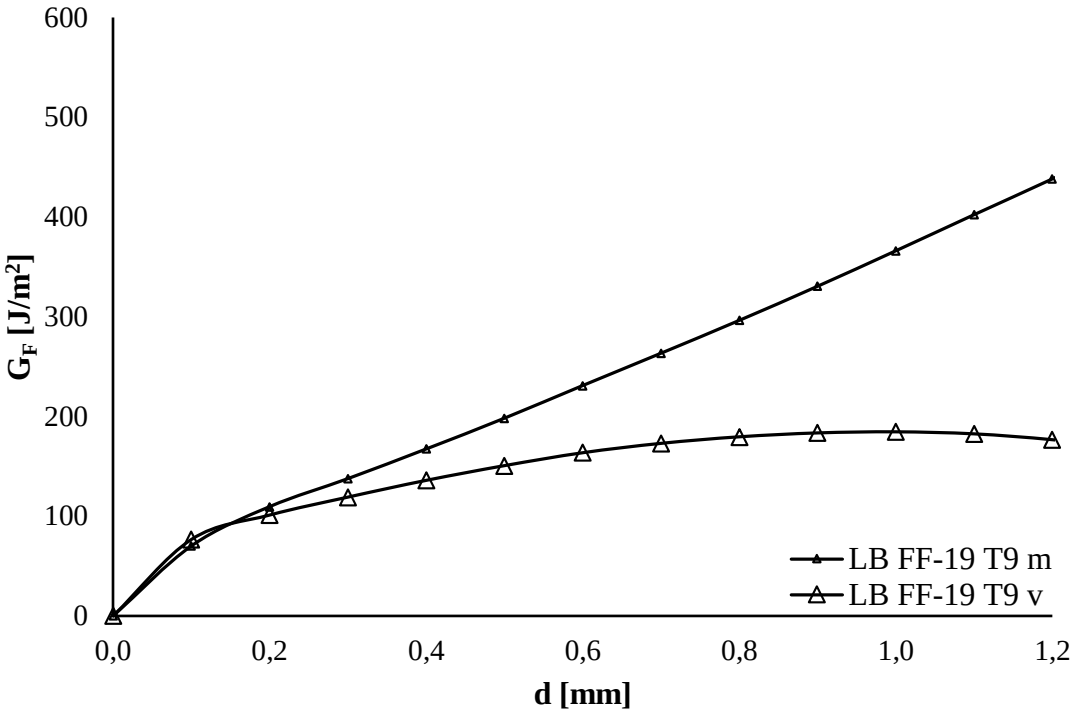



140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
d [mm]
LB REF T5 m
LB REF T5 v

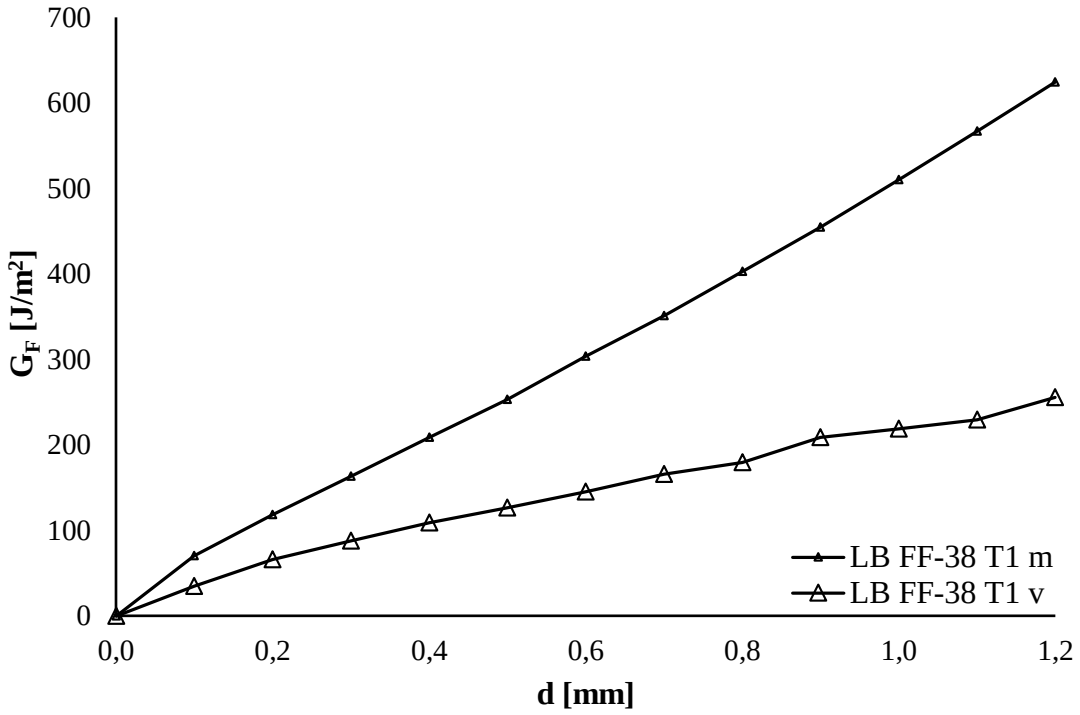
LB FF-19

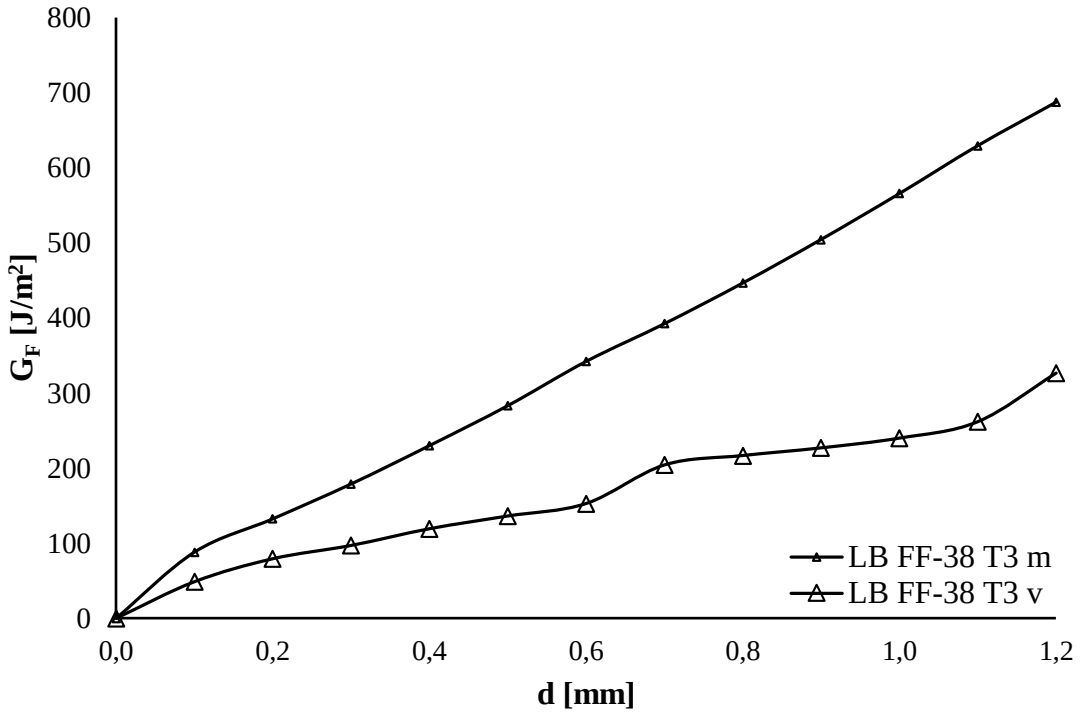

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T7 m
LB FF-19 T7 v

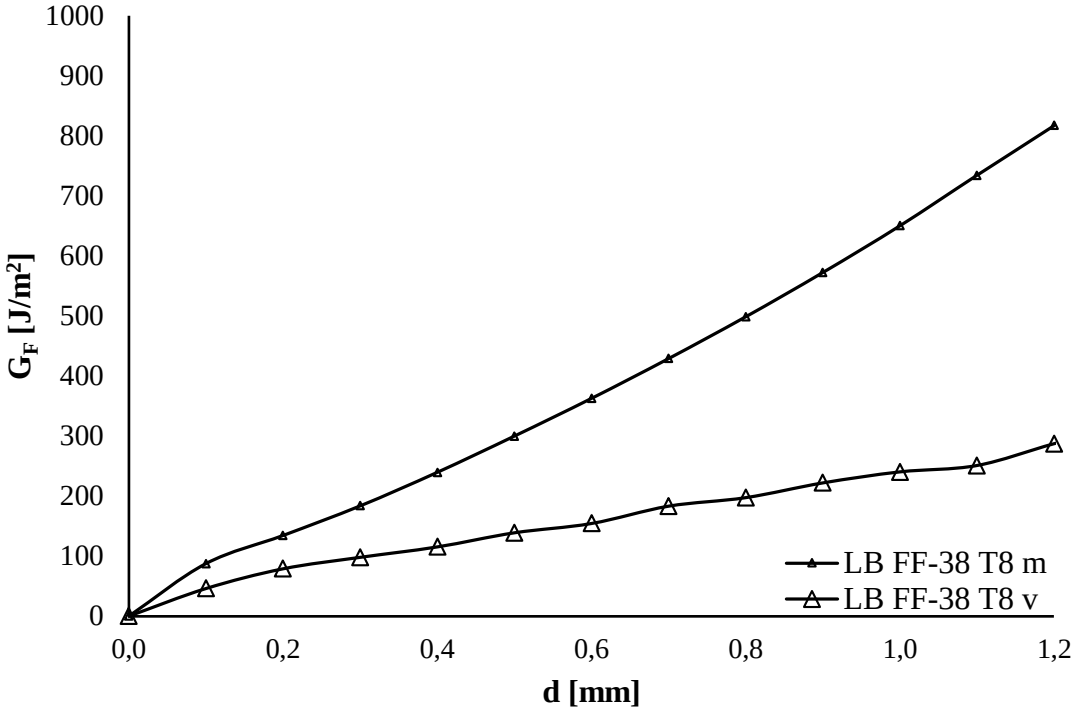

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T8 m
LB FF-19 T8 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-19 T9 m
LB FF-19 T9 v

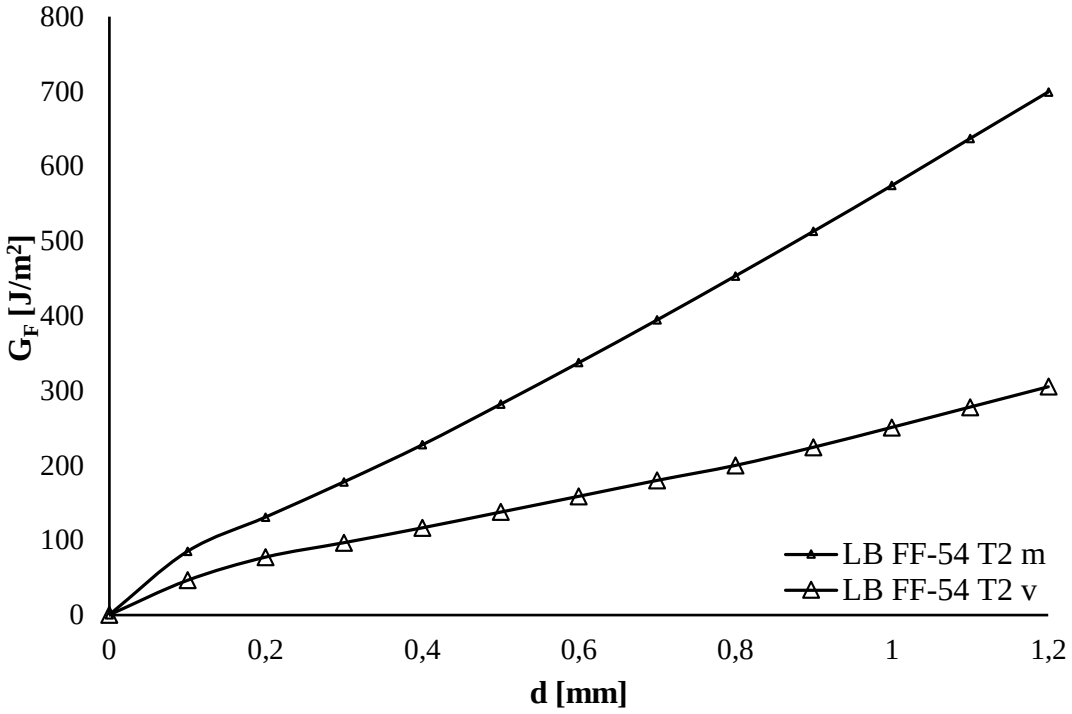
LB FF-38

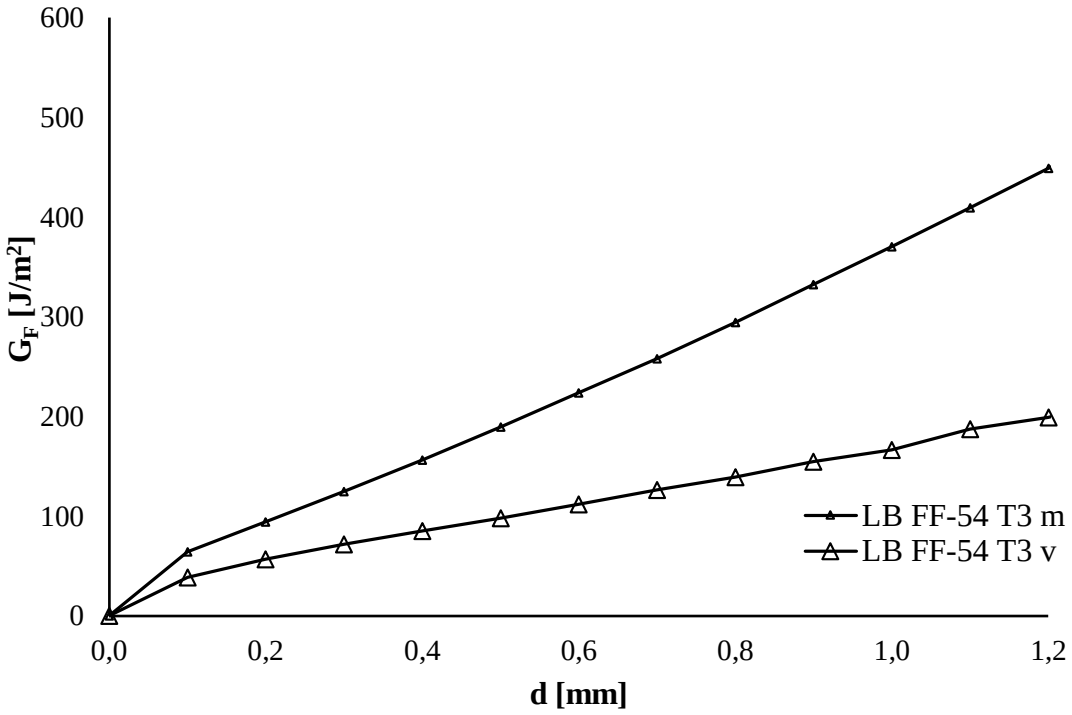

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T1 m
LB FF-38 T1 v

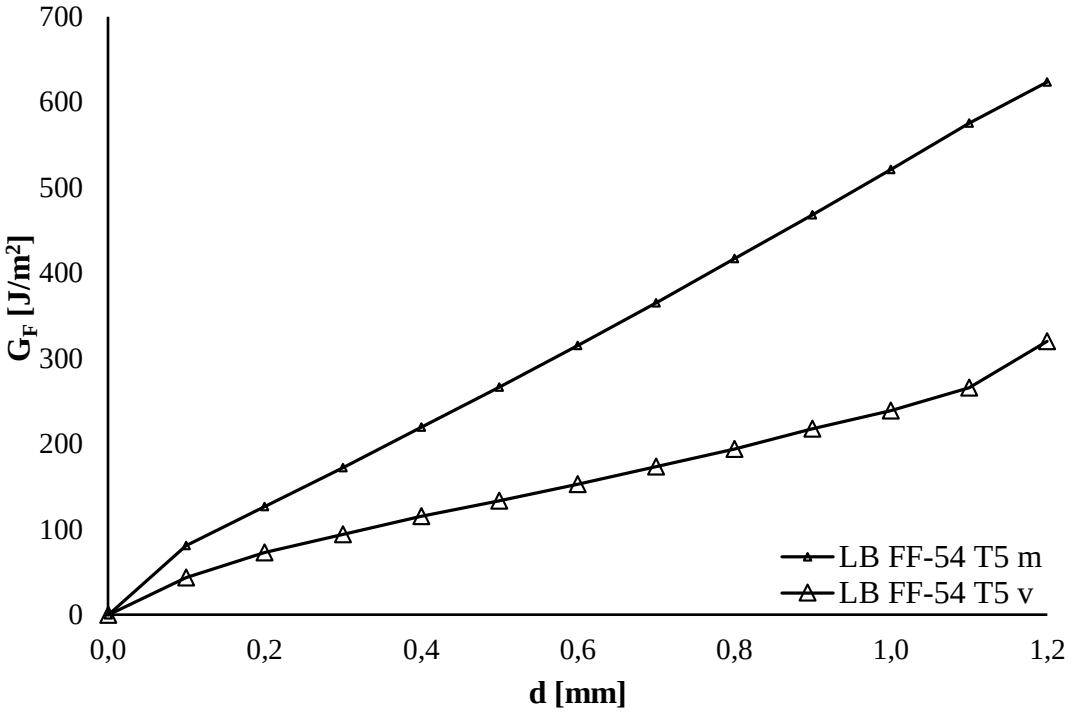

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T3 m
LB FF-38 T3 v


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-38 T8 m
LB FF-38 T8 v

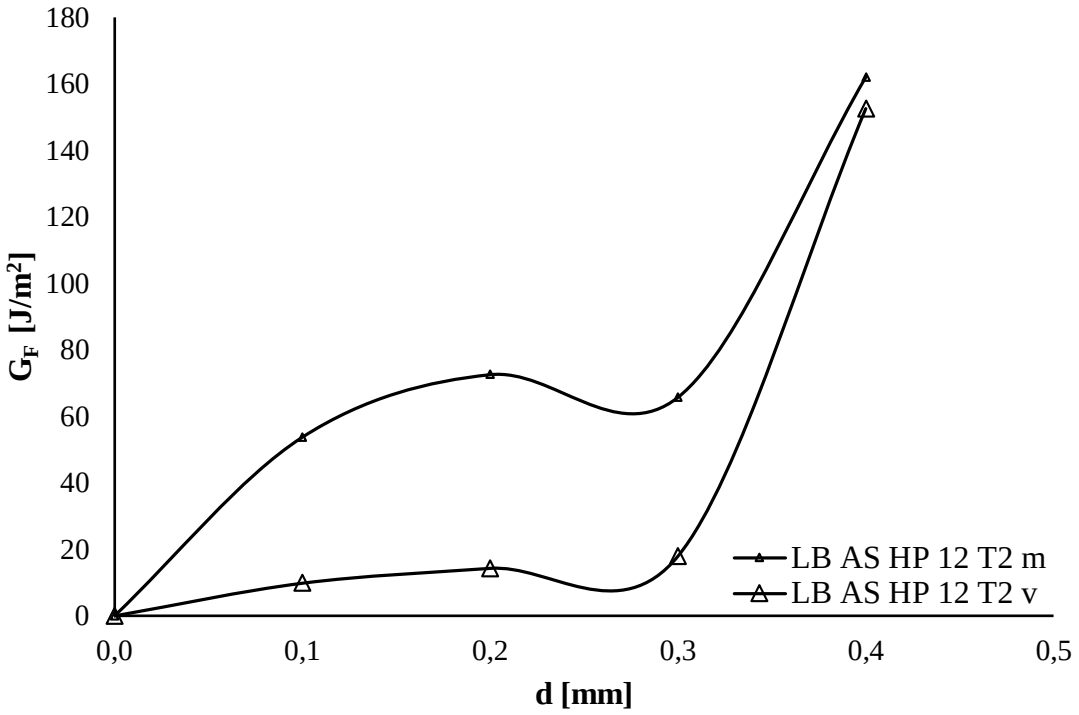
LB FF-54

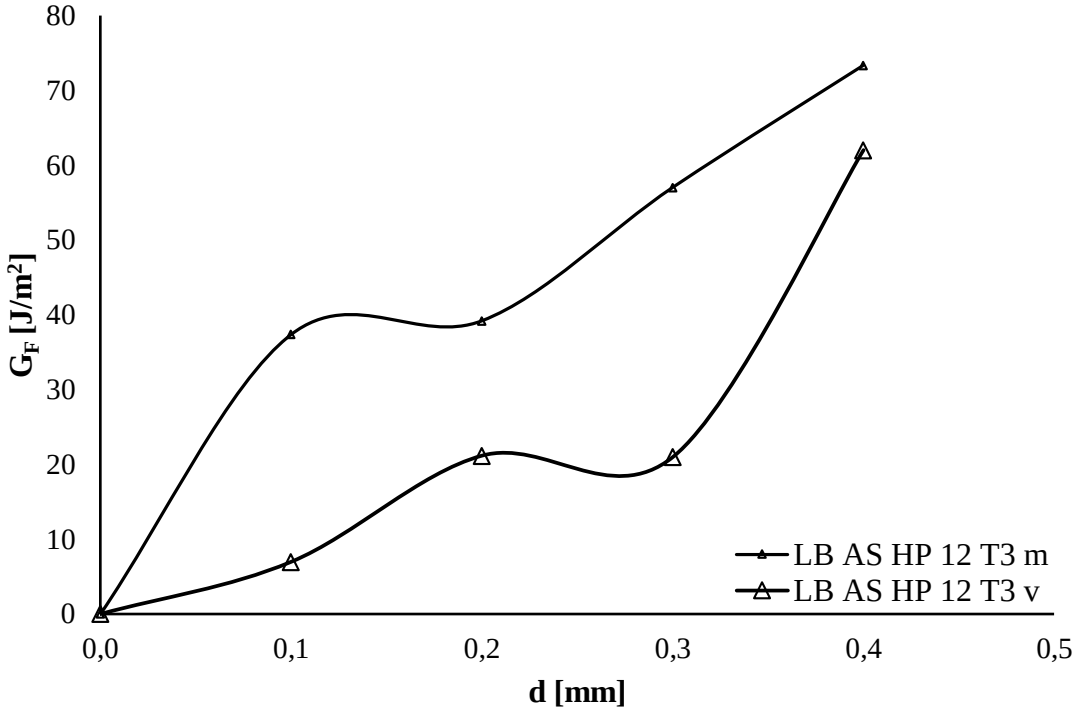

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
d [mm]
LB FF-54 T2 m
LB FF-54 T2 v

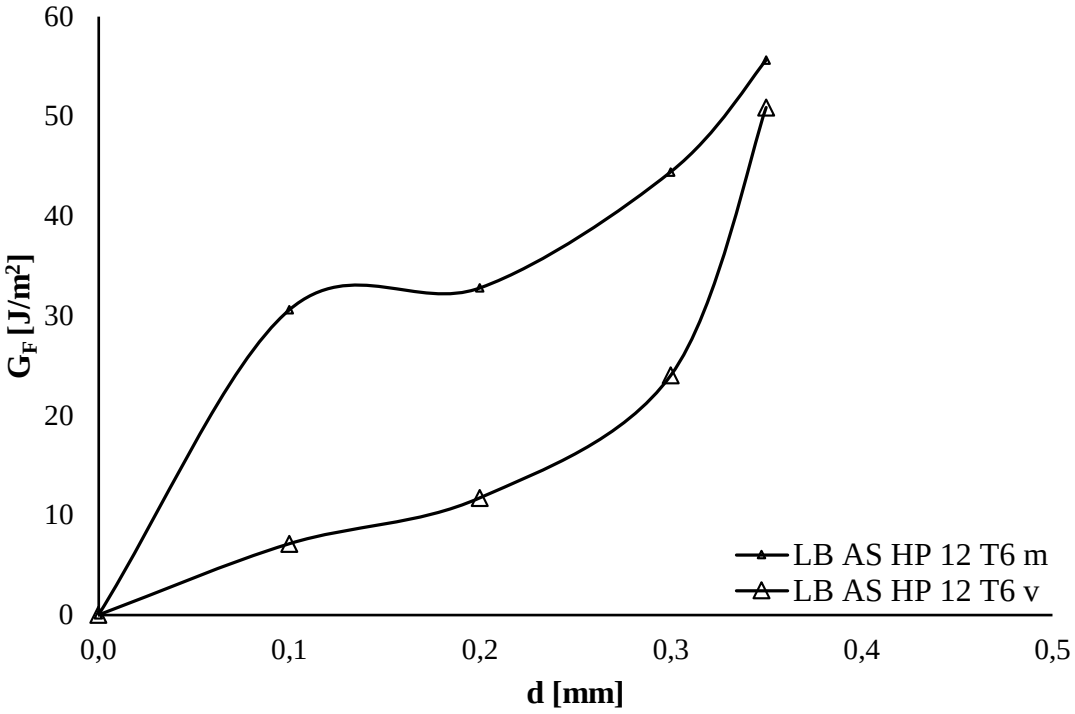

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T3 m
LB FF-54 T3 v


700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
LB FF-54 T5 m
LB FF-54 T5 v

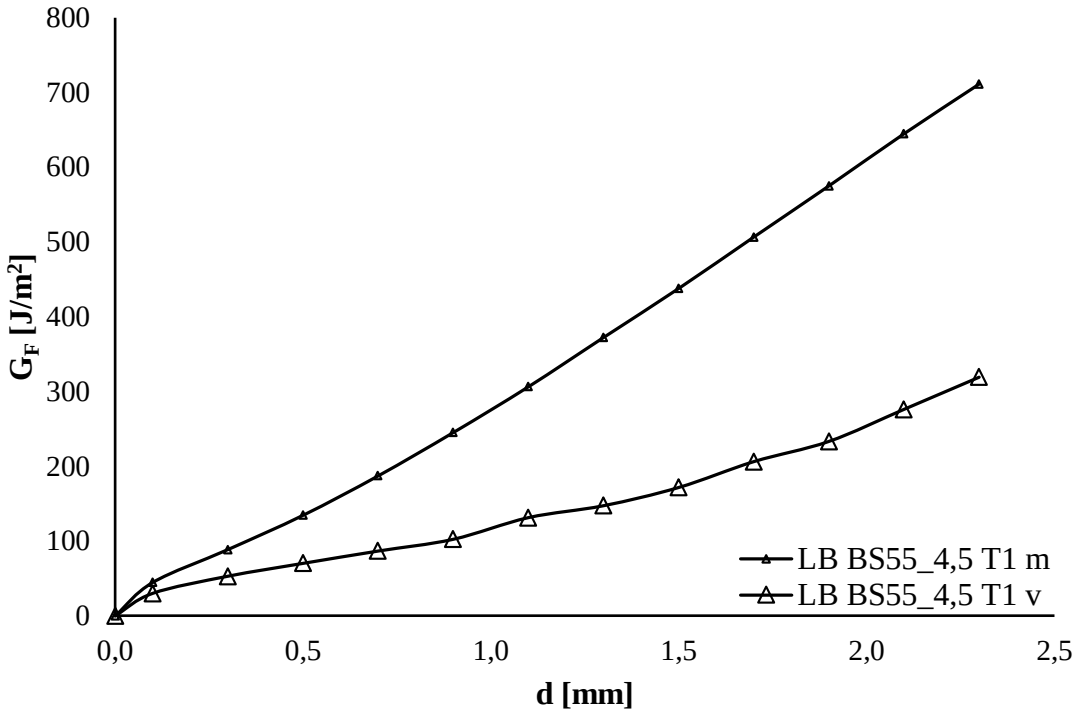
LB ASHP_12

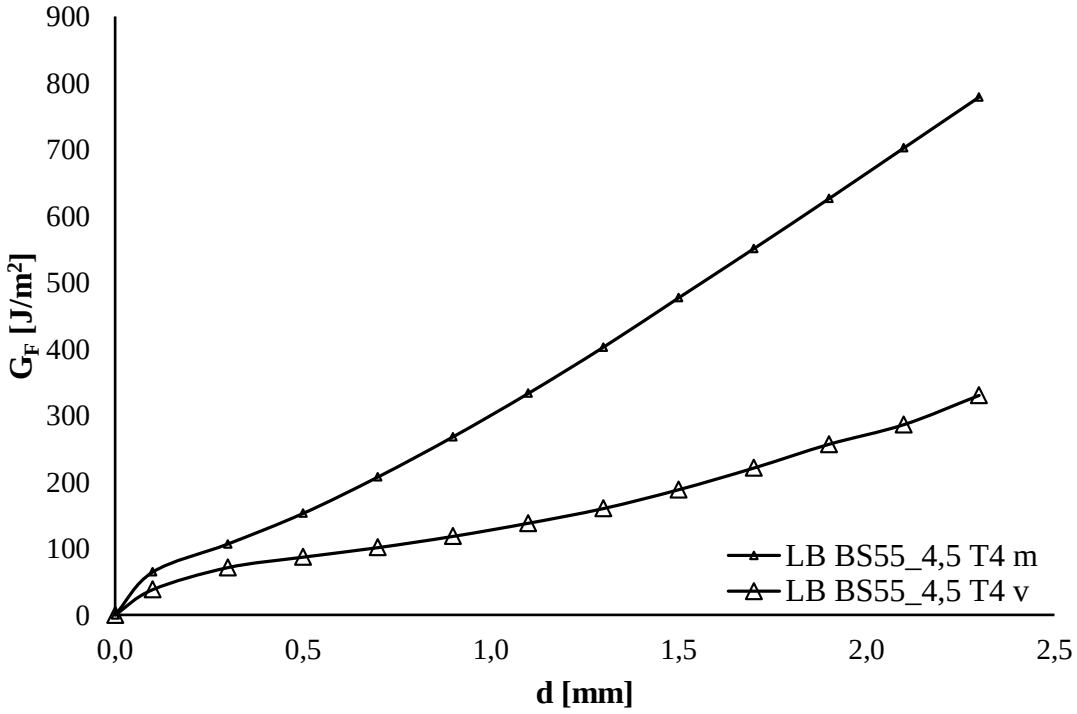

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
d [mm]
LB AS HP 12 T2 m
LB AS HP 12 T2 v

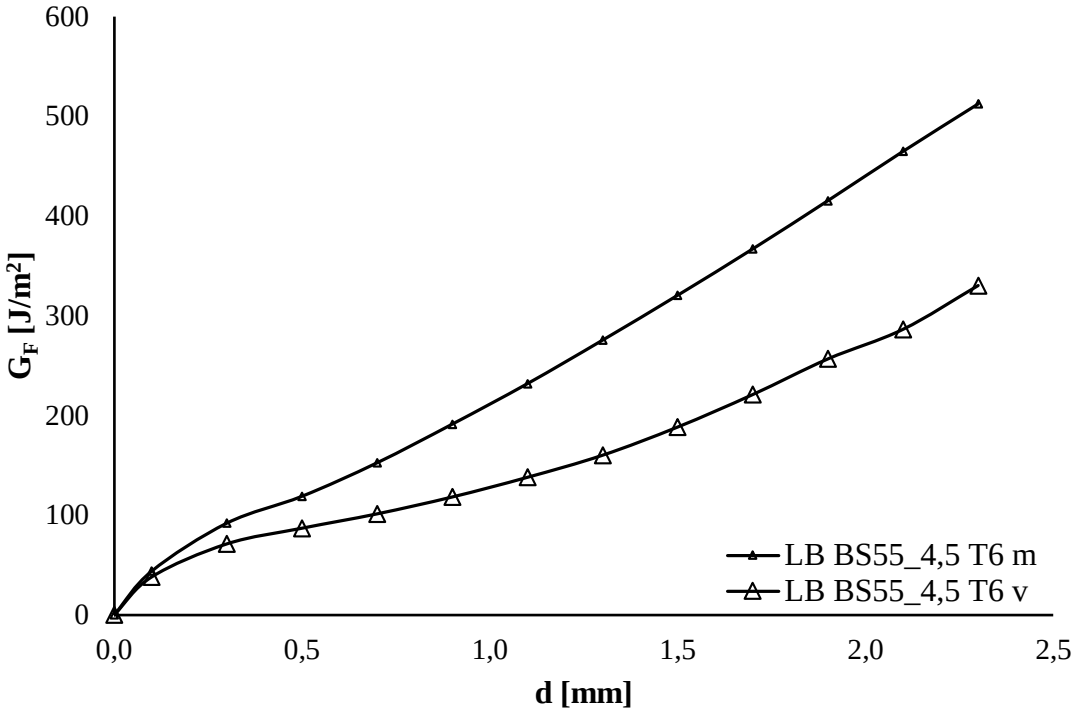

80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
d [mm]
LB AS HP 12 T3 m
LB AS HP 12 T3 v


60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
d [mm]
LB AS HP 12 T6 m
LB AS HP 12 T6 v

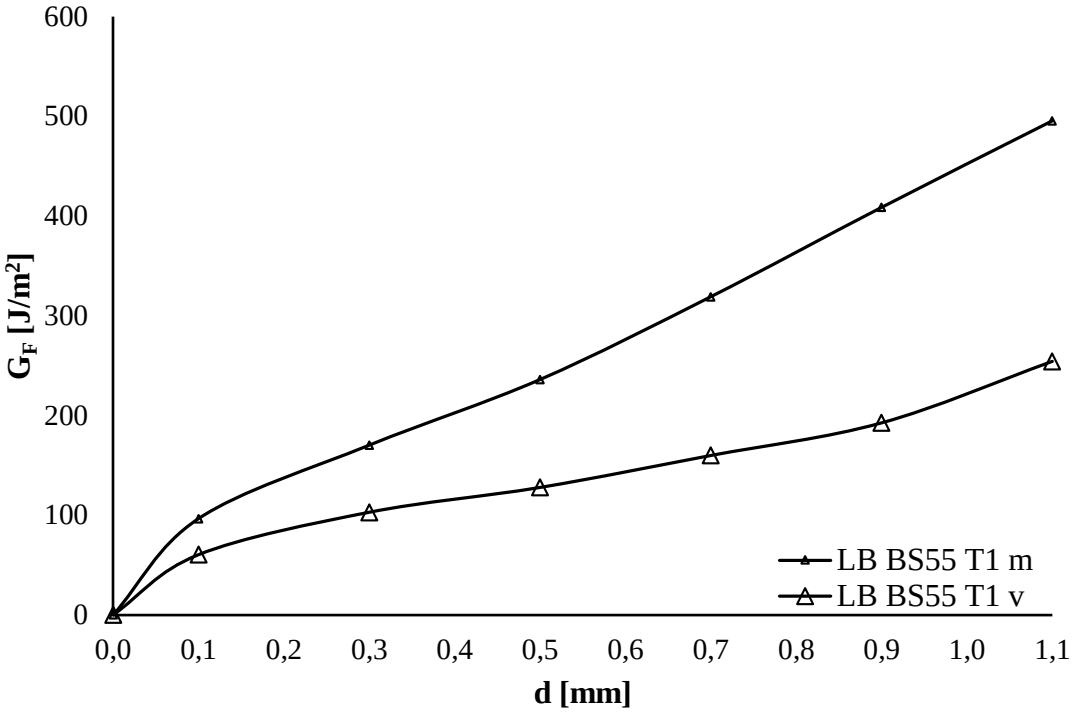
LB BS55_4,5

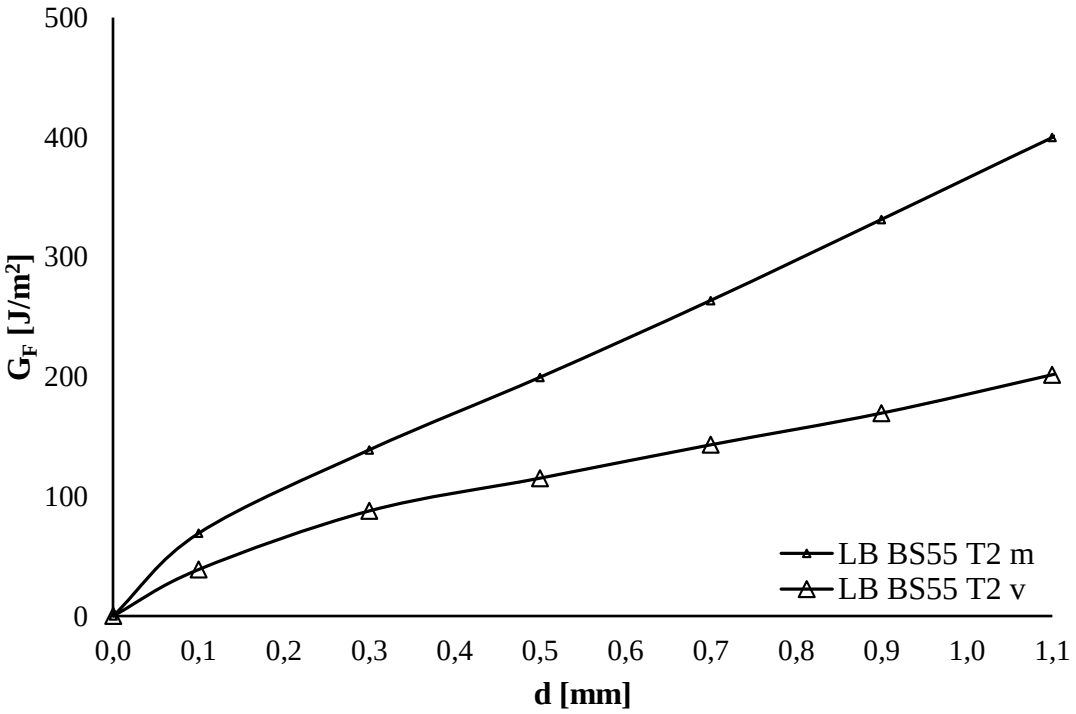

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
LB BS55_4,5 T1 m
LB BS55_4,5 T1 v

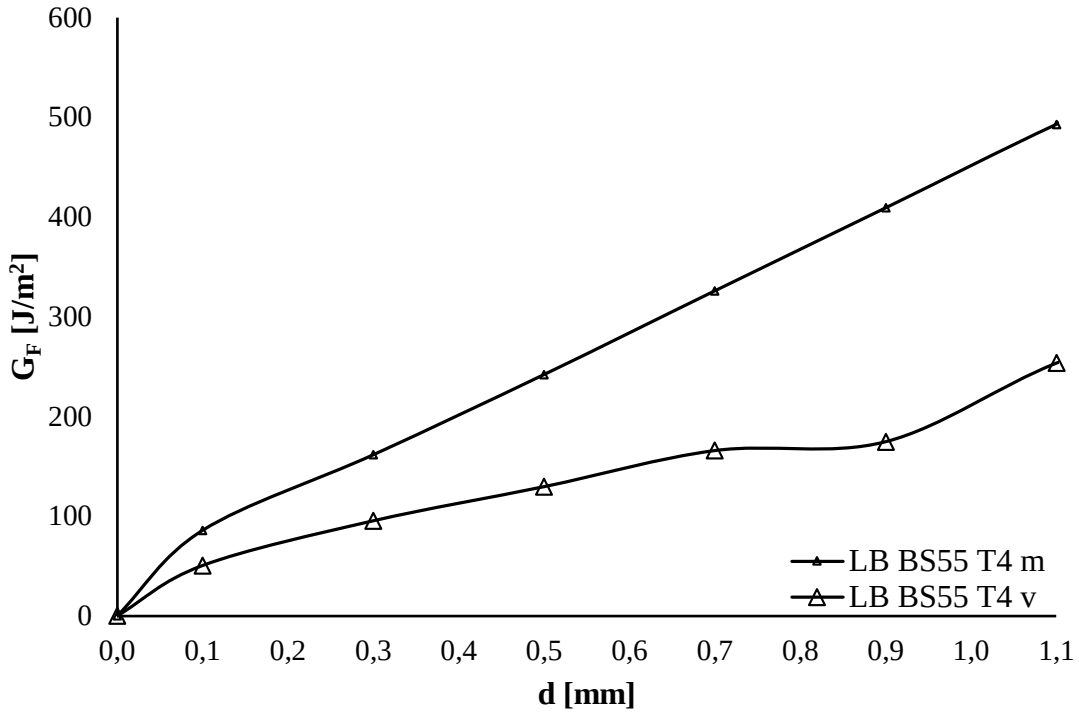

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
LB BS55_4,5 T4 m
LB BS55_4,5 T4 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
LB BS55_4,5 T6 m
LB BS55_4,5 T6 v

LB BS55

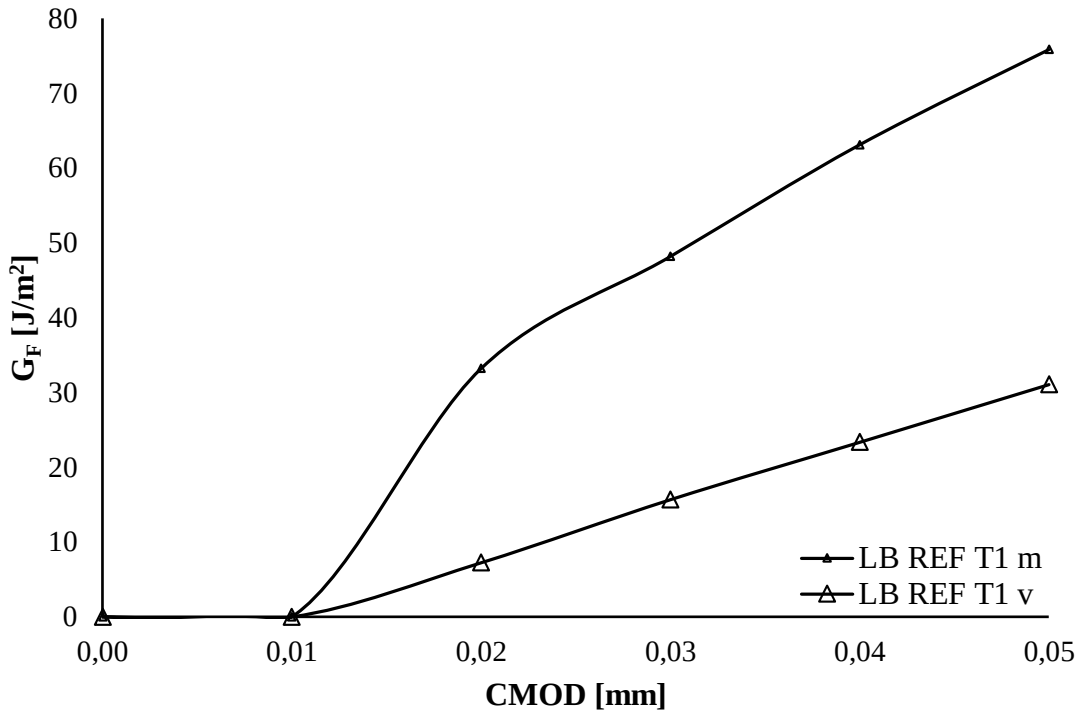

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
d [mm]
LB BS55 T1 m
LB BS55 T1 v

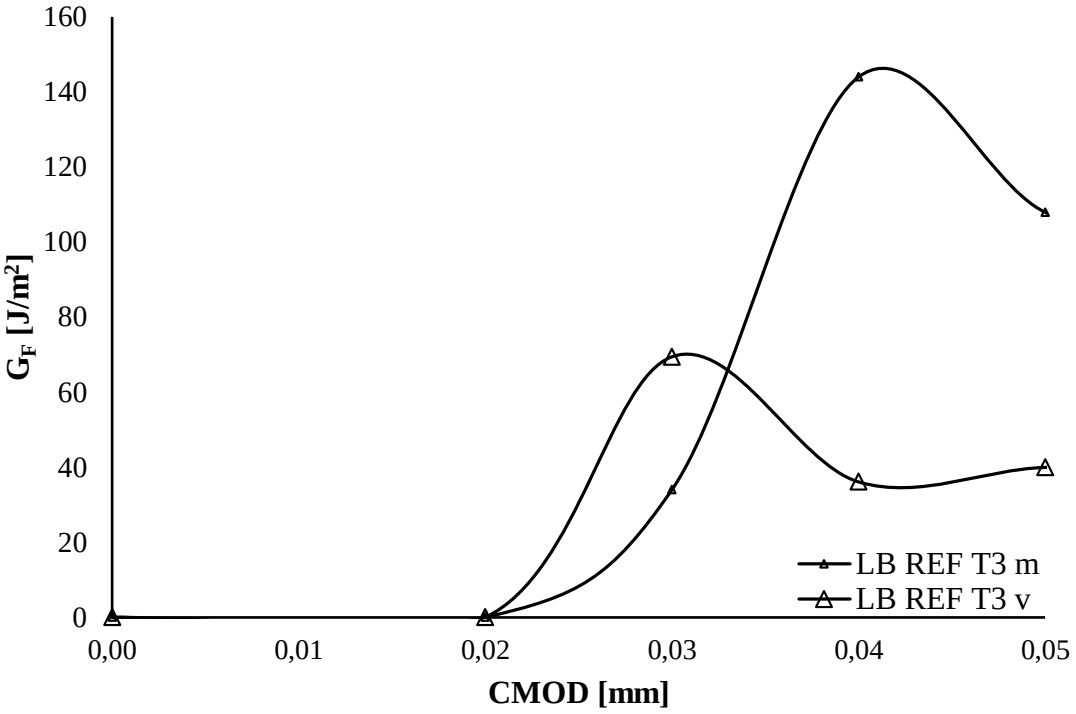

500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
d [mm]
LB BS55 T2 m
LB BS55 T2 v

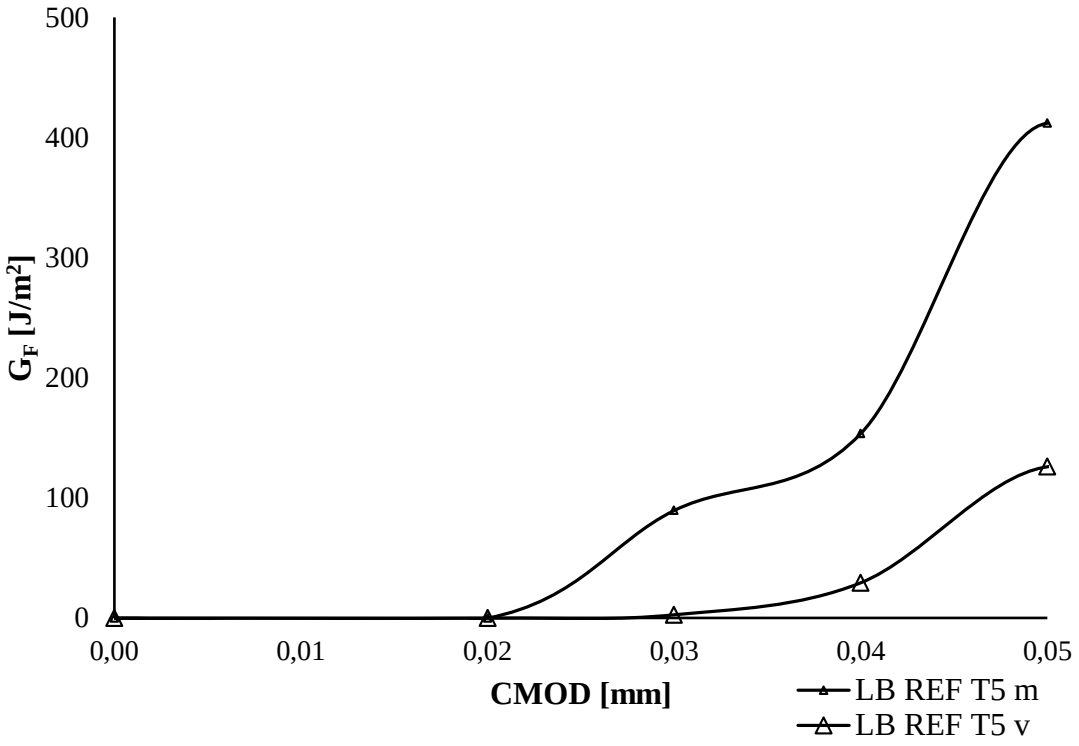

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
d [mm]
LB BS55 T4 m
LB BS55 T4 v

P8.2 Tělesa z lehkého betonu – *CMOD*

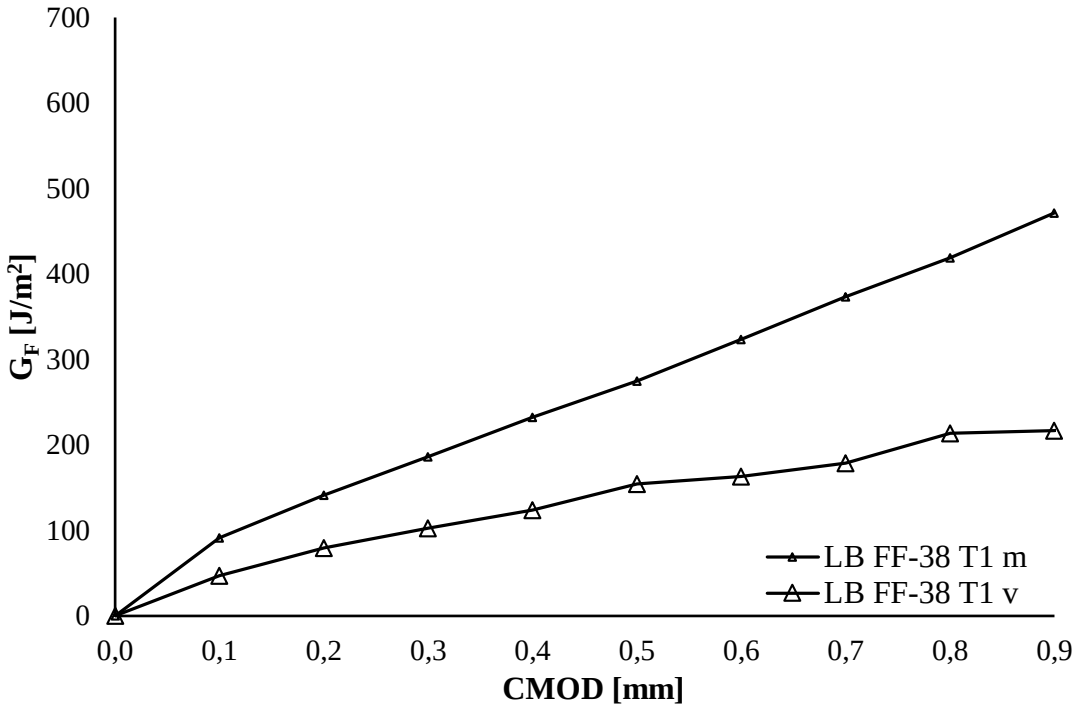
LB REF

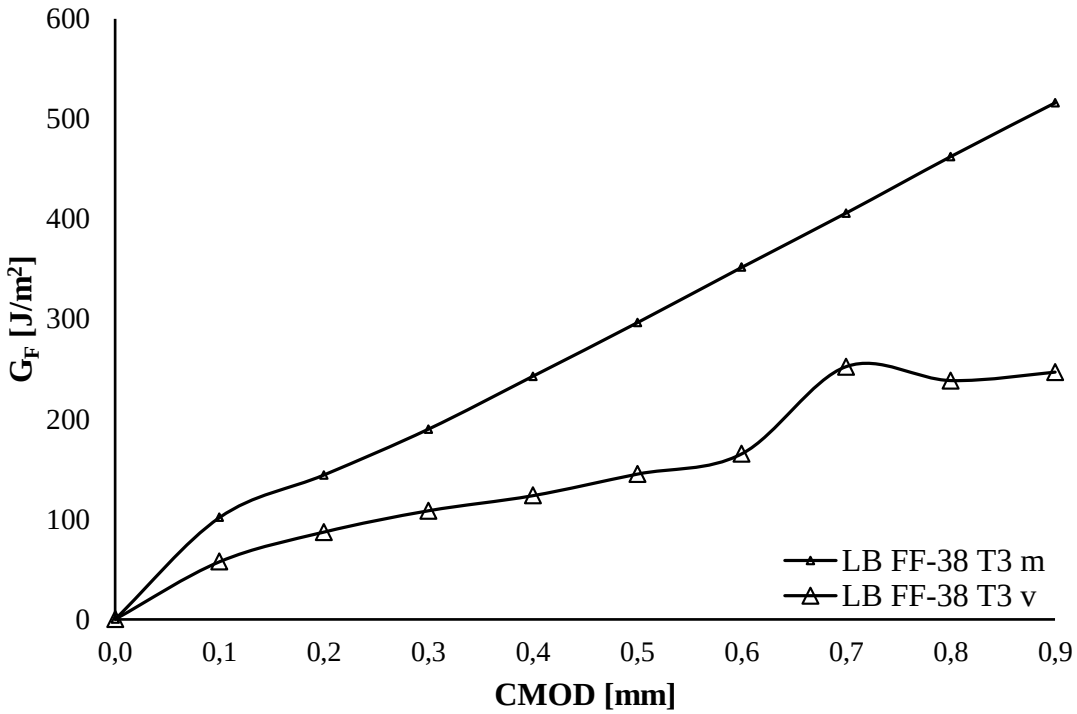




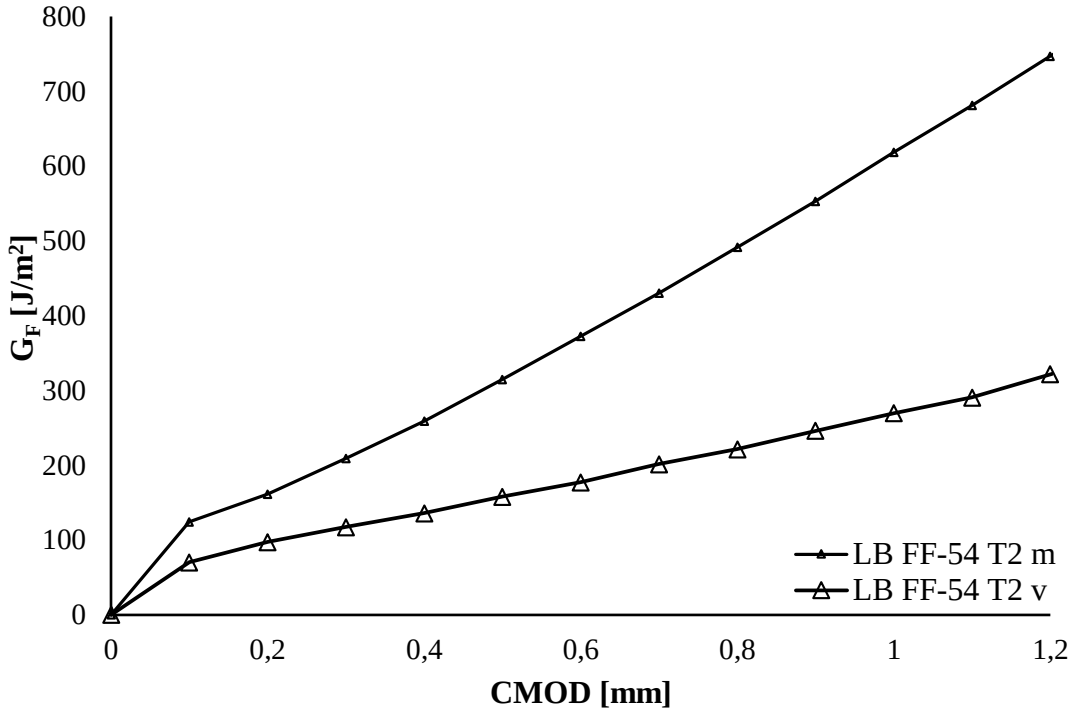

500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
CMOD [mm]
LB REF T5 m
LB REF T5 v

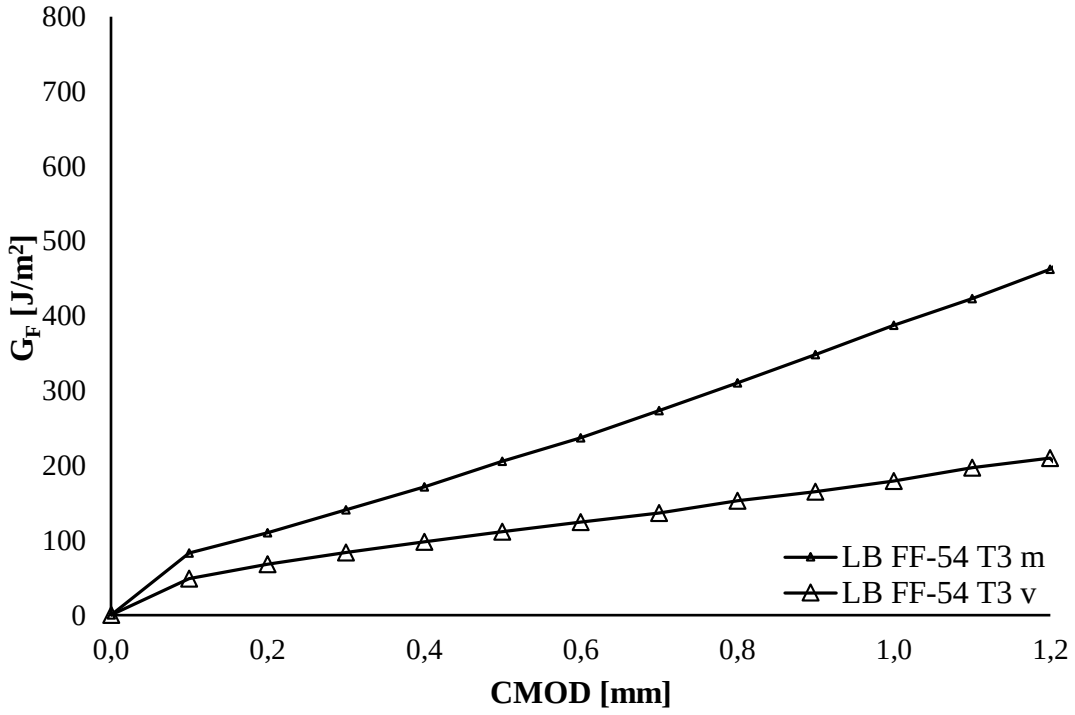
LB FF-38

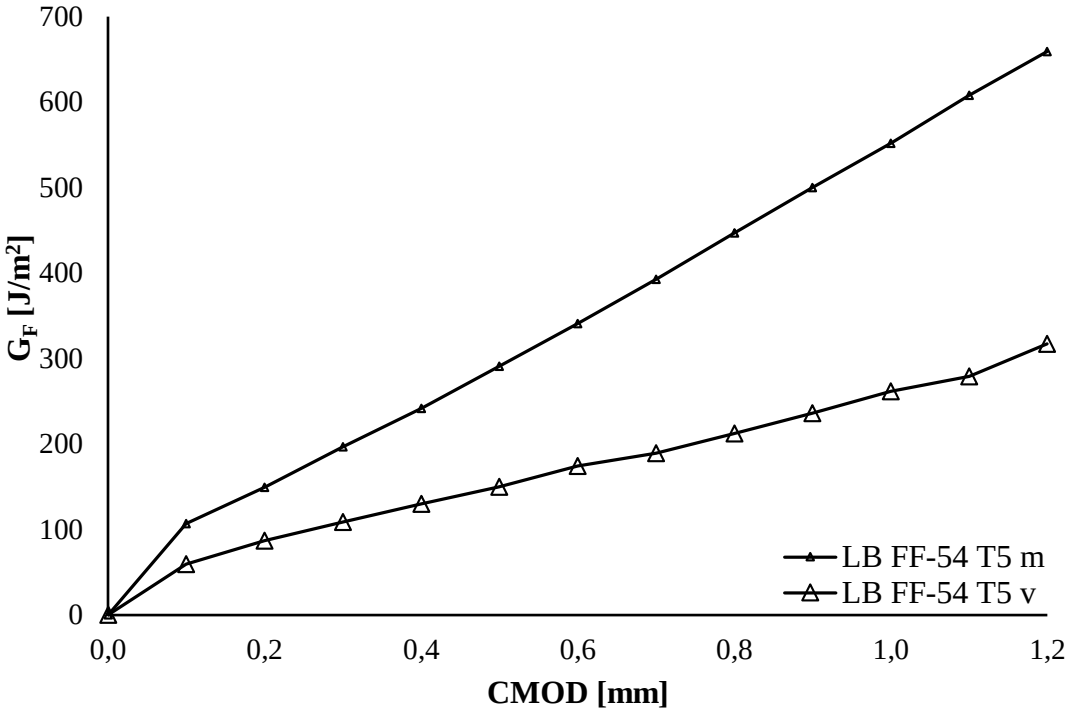

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
CMOD [mm]
LB FF-38 T1 m
LB FF-38 T1 v


600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
CMOD [mm]
LB FF-38 T3 m
LB FF-38 T3 v

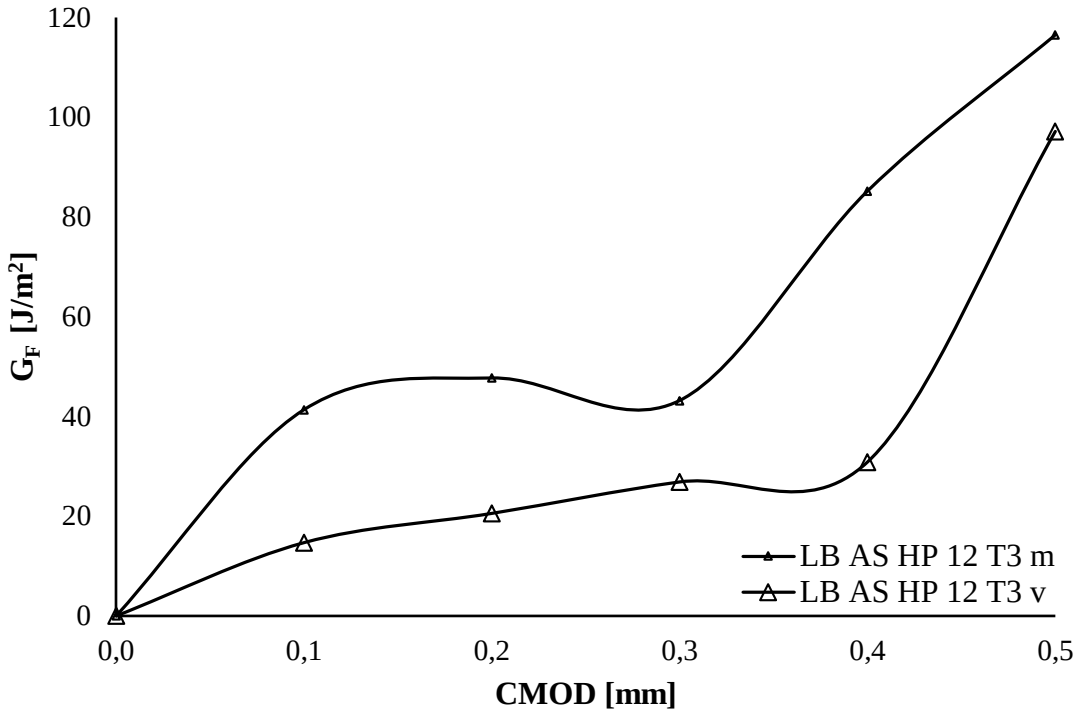
LB FF-54

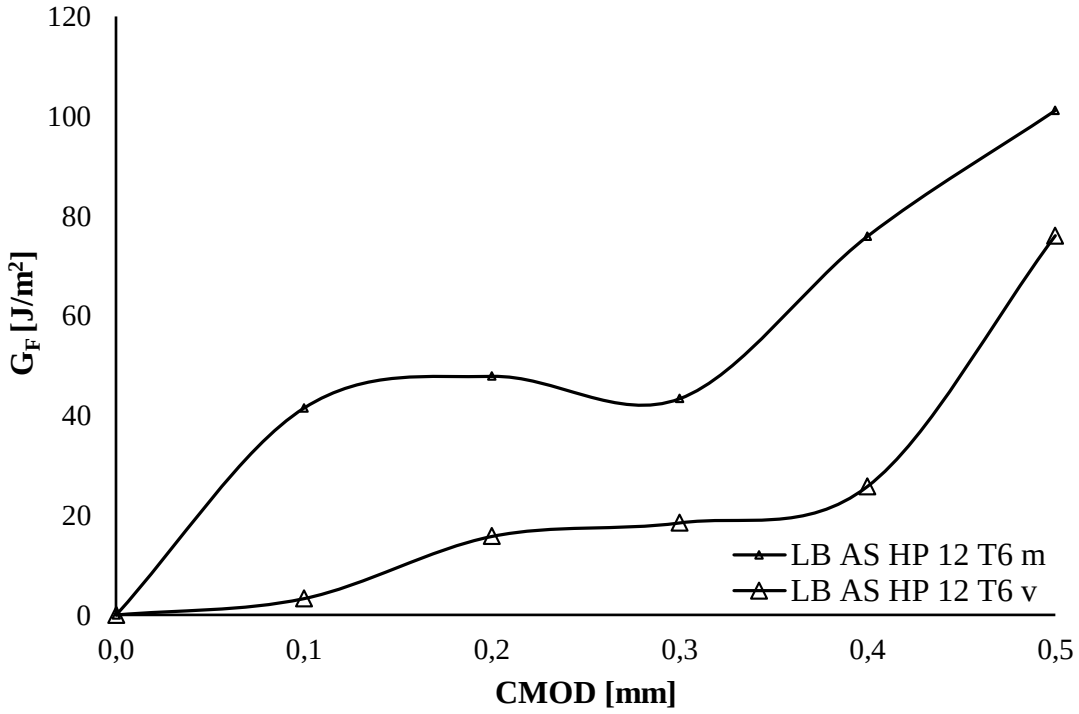

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T2 m
LB FF-54 T2 v


800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T3 m
LB FF-54 T3 v

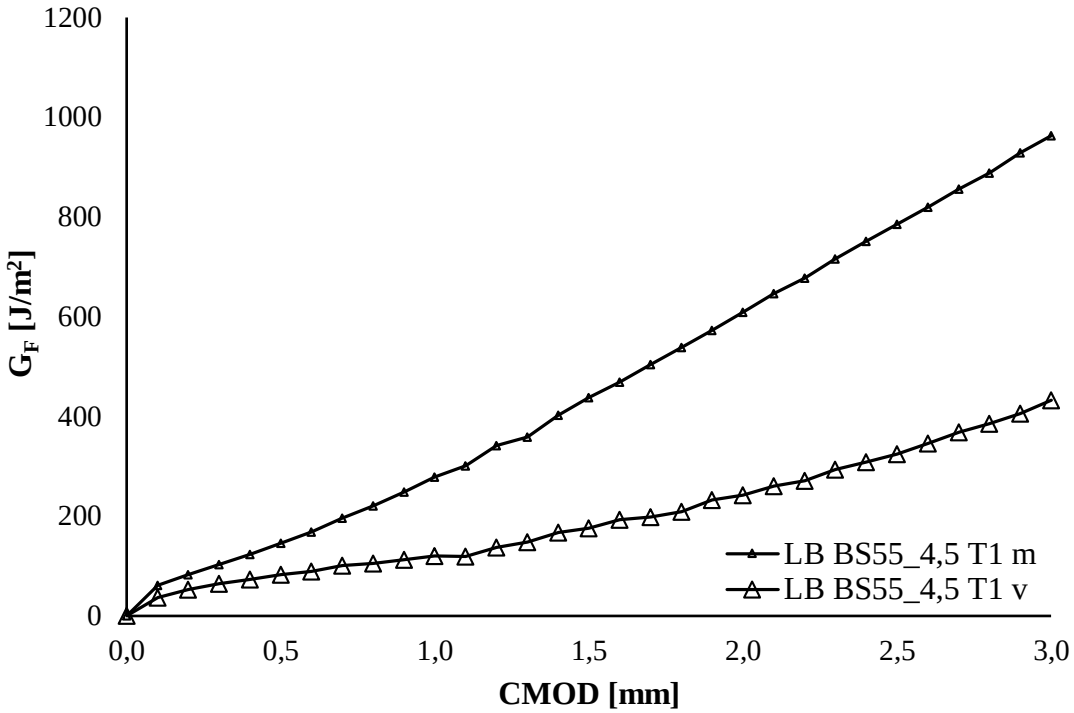

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
CMOD [mm]
LB FF-54 T5 m
LB FF-54 T5 v

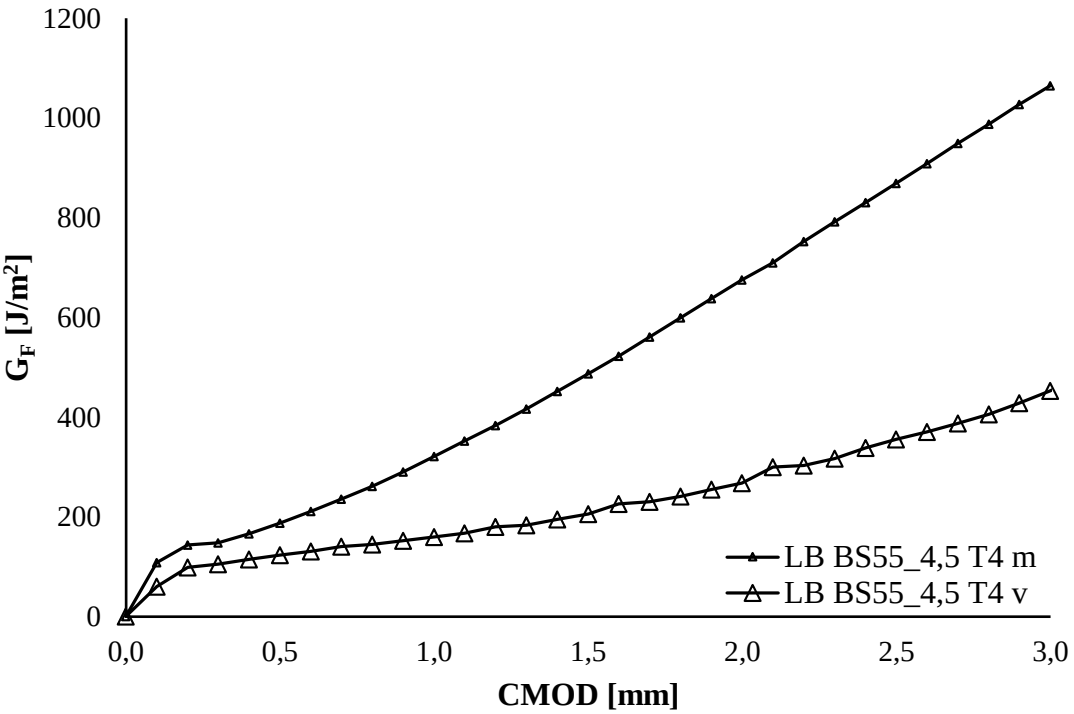
LB ASHP_12


120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m²]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
CMOD [mm]
LB AS HP 12 T3 m
LB AS HP 12 T3 v

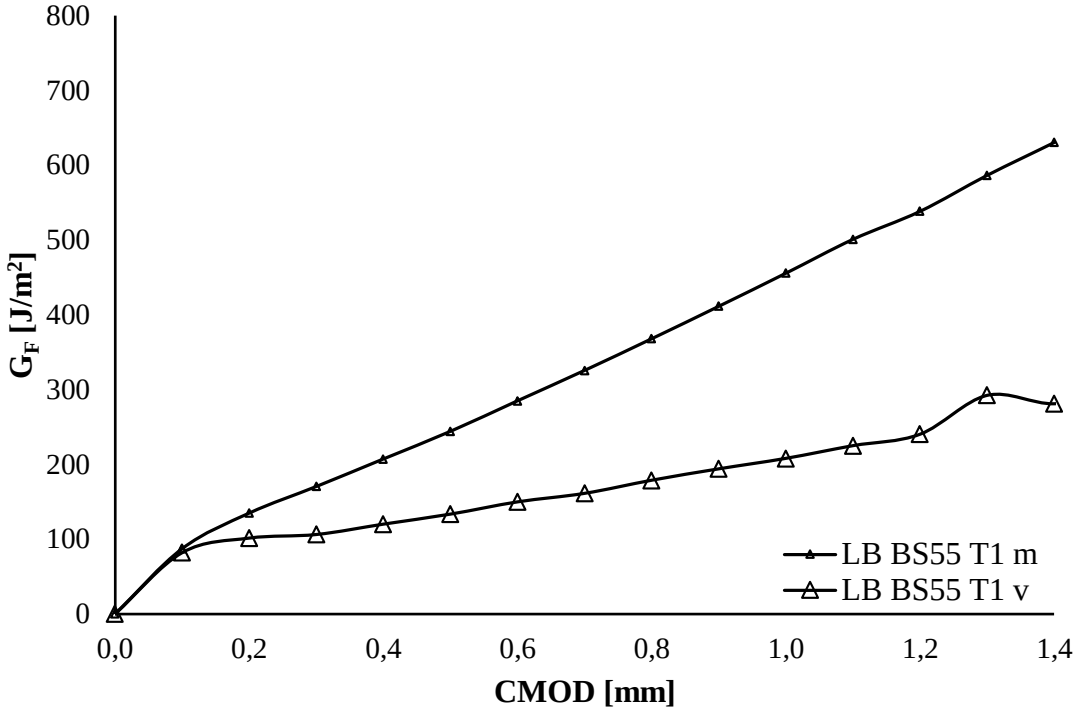

120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m²]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
CMOD [mm]
LB AS HP 12 T6 m
LB AS HP 12 T6 v

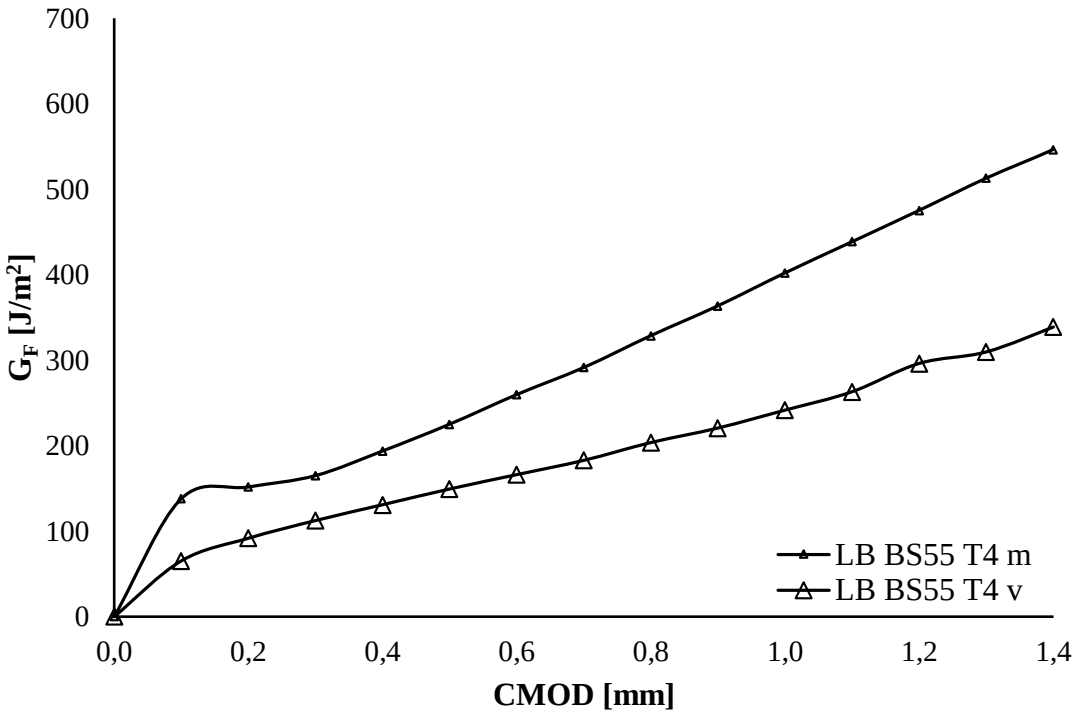
LB BS55_4,5

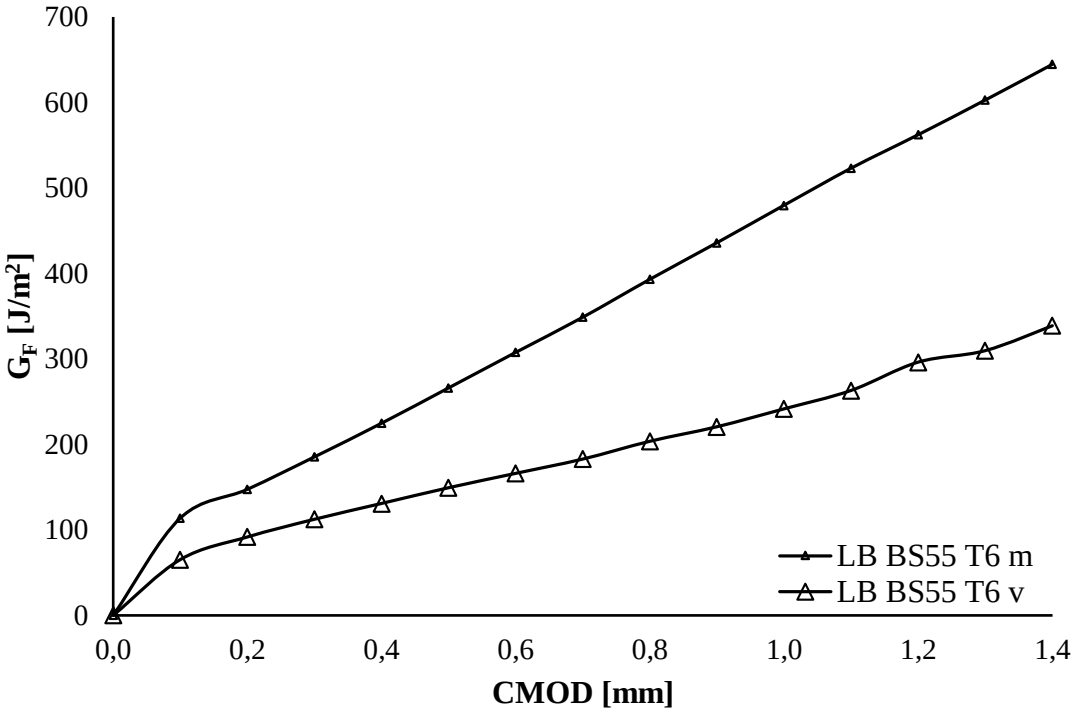

1200
1000
800
600
400
200
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T1 m
LB BS55_4,5 T1 v


1200
1000
800
600
400
200
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
CMOD [mm]
LB BS55_4,5 T4 m
LB BS55_4,5 T4 v

LB BS55

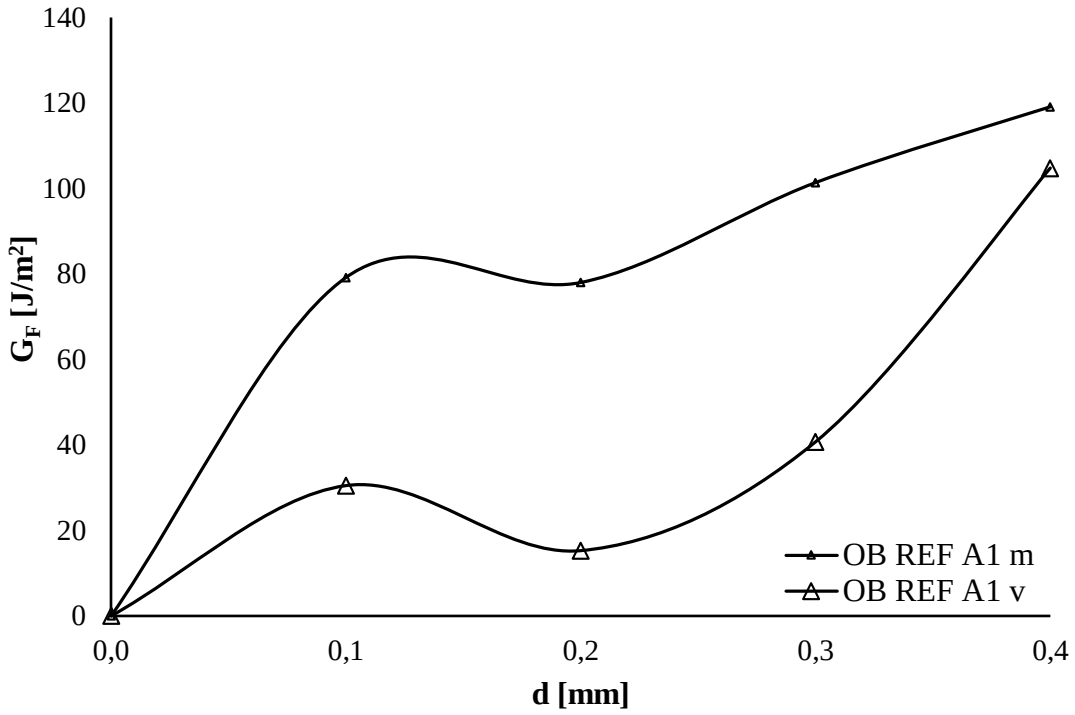

800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T1 m
LB BS55 T1 v

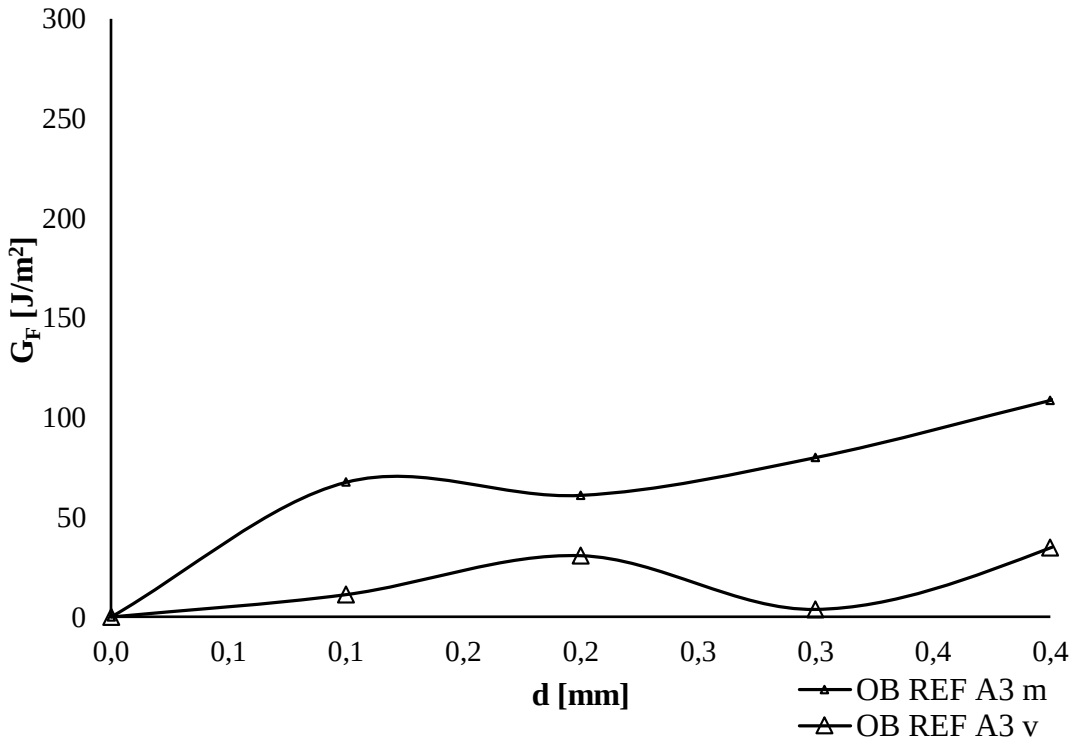

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T4 m
LB BS55 T4 v

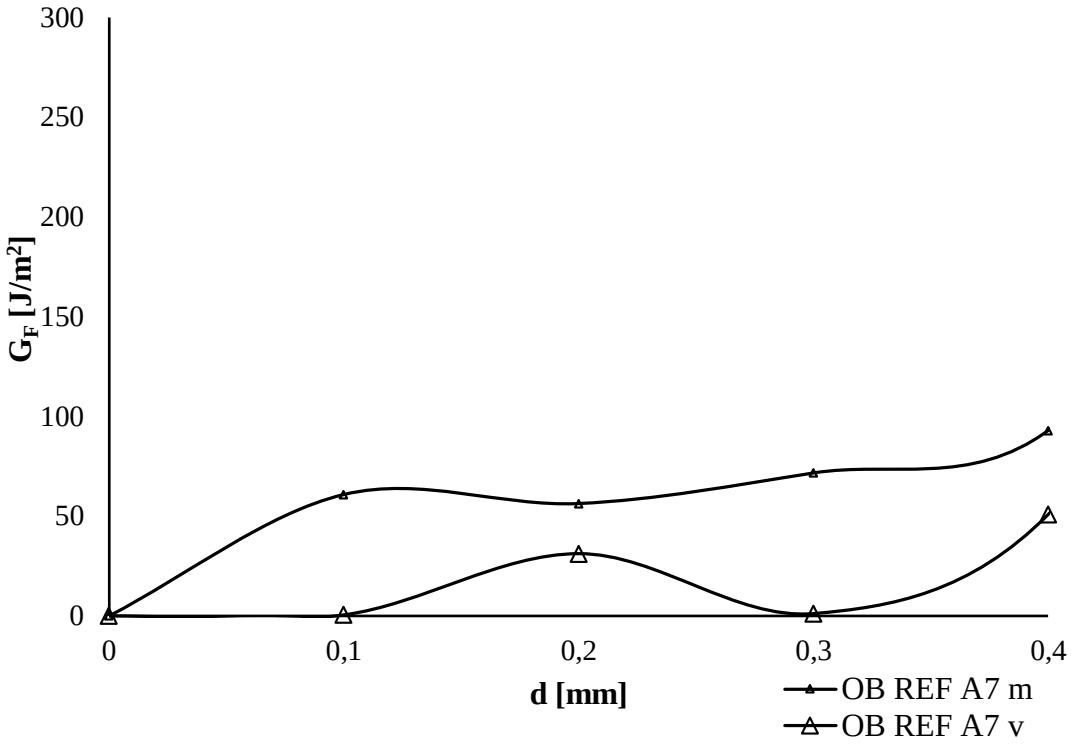

700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
CMOD [mm]
LB BS55 T6 m
LB BS55 T6 v

P8.3 Tělesa z obyčejného betonu – *d*

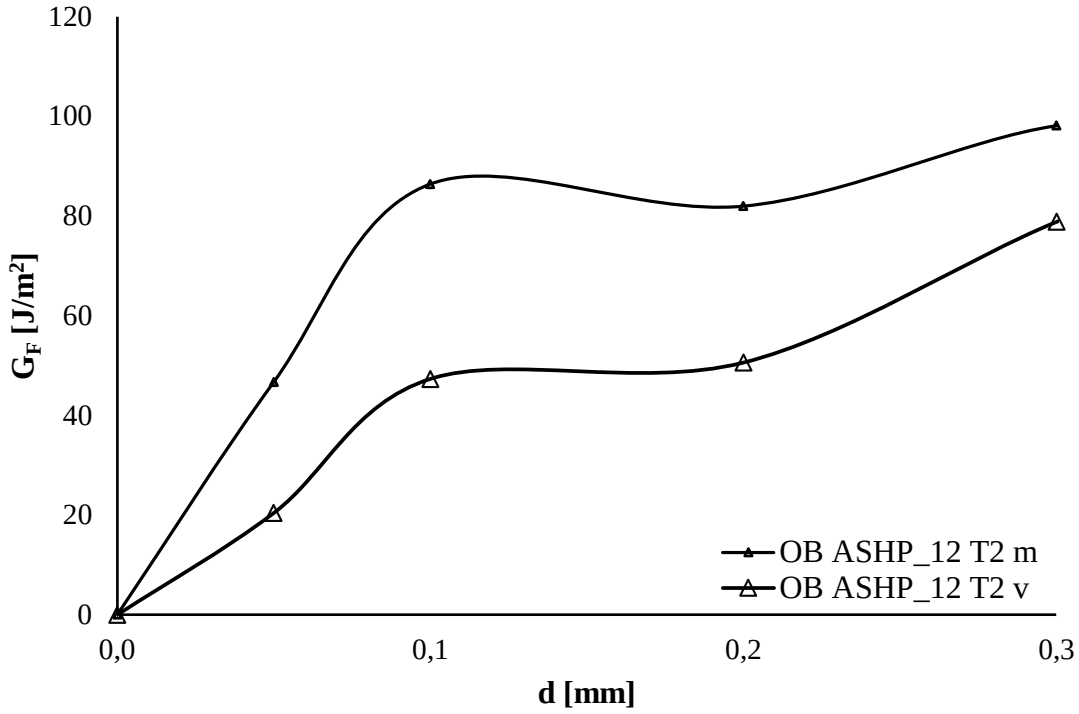
OB REF

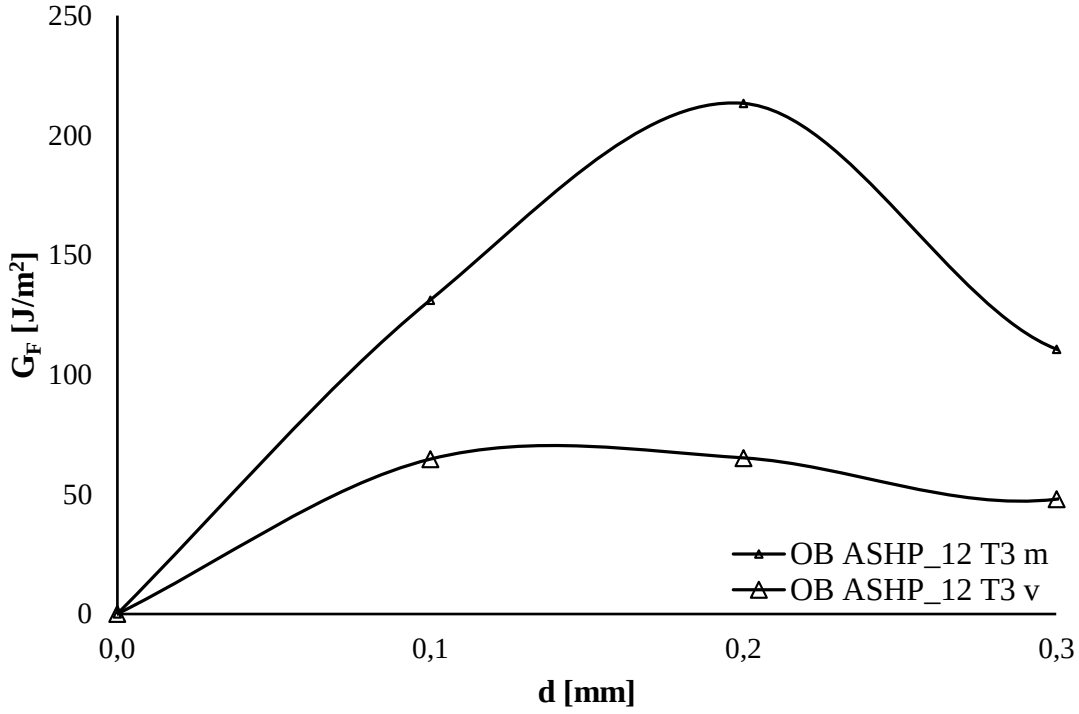


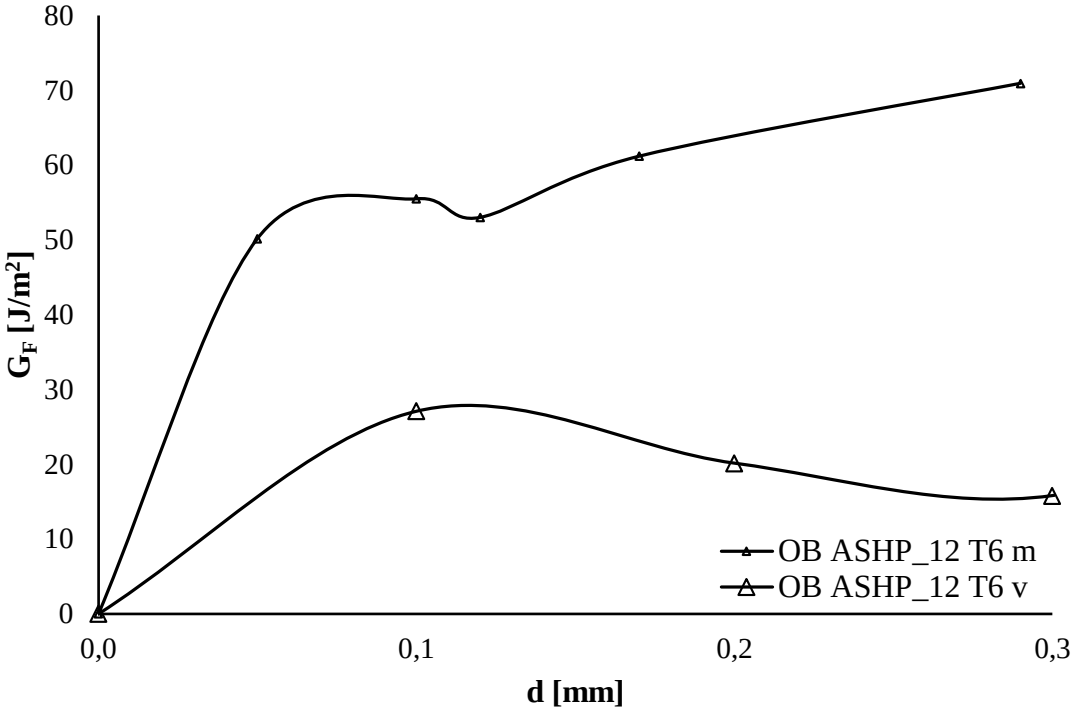



300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m²]
0
0,1
0,2
0,3
0,4
d [mm]
OB REF A7 m
OB REF A7 v

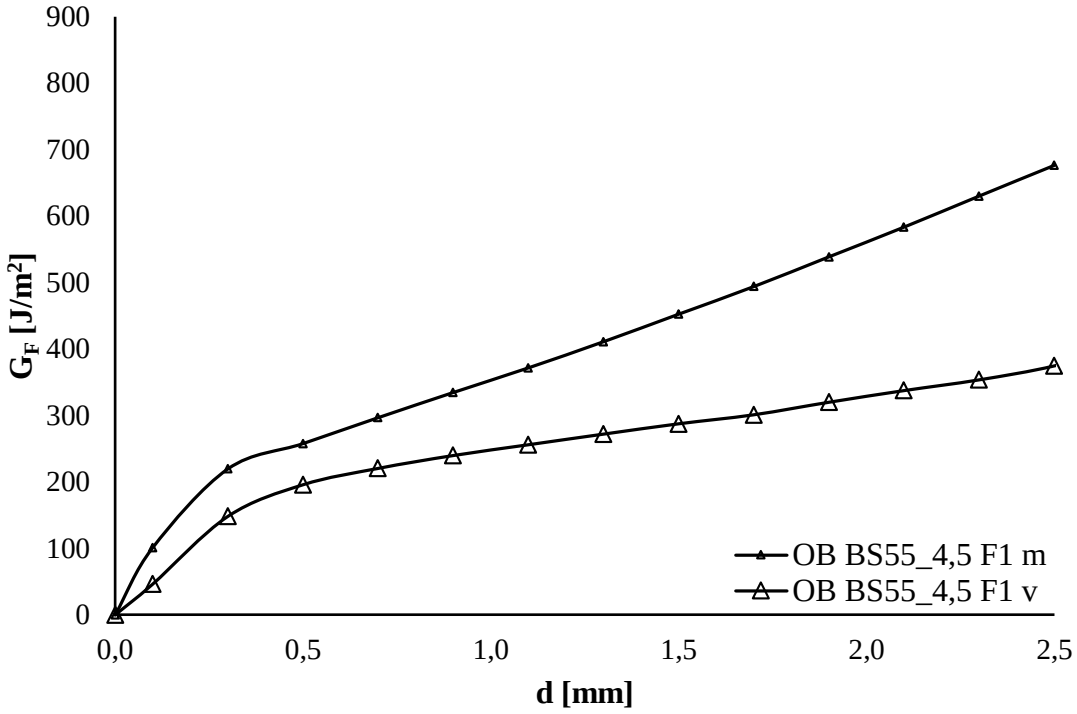
OB ASHP_12

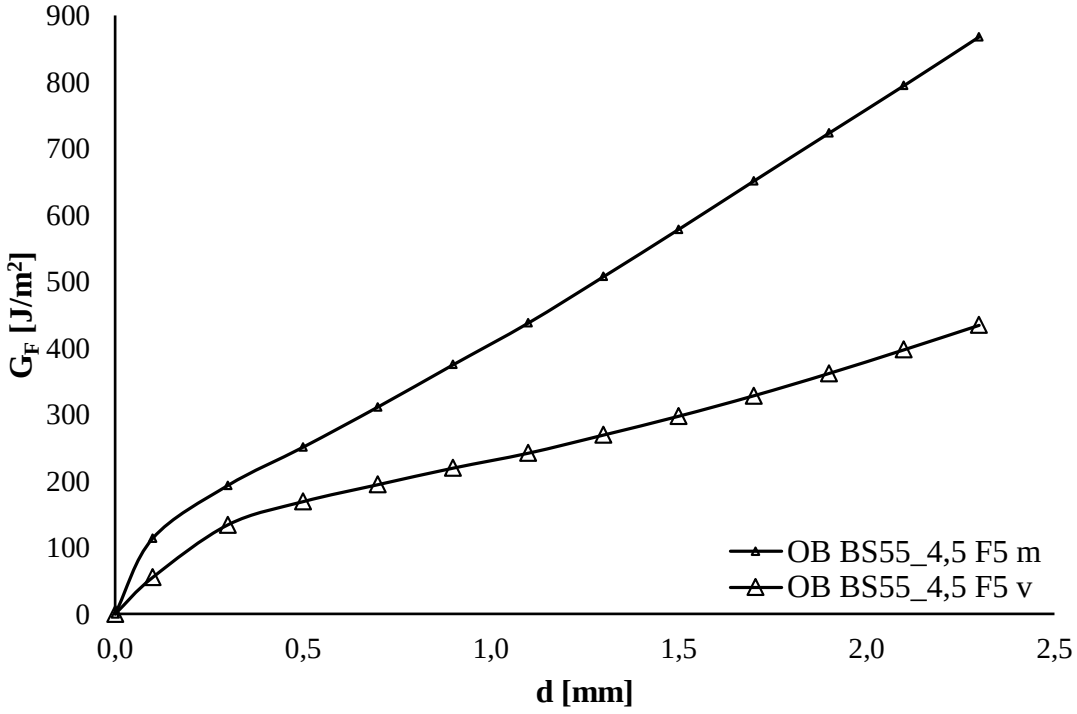

120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
d [mm]
OB ASHP_12 T2 m
OB ASHP_12 T2 v

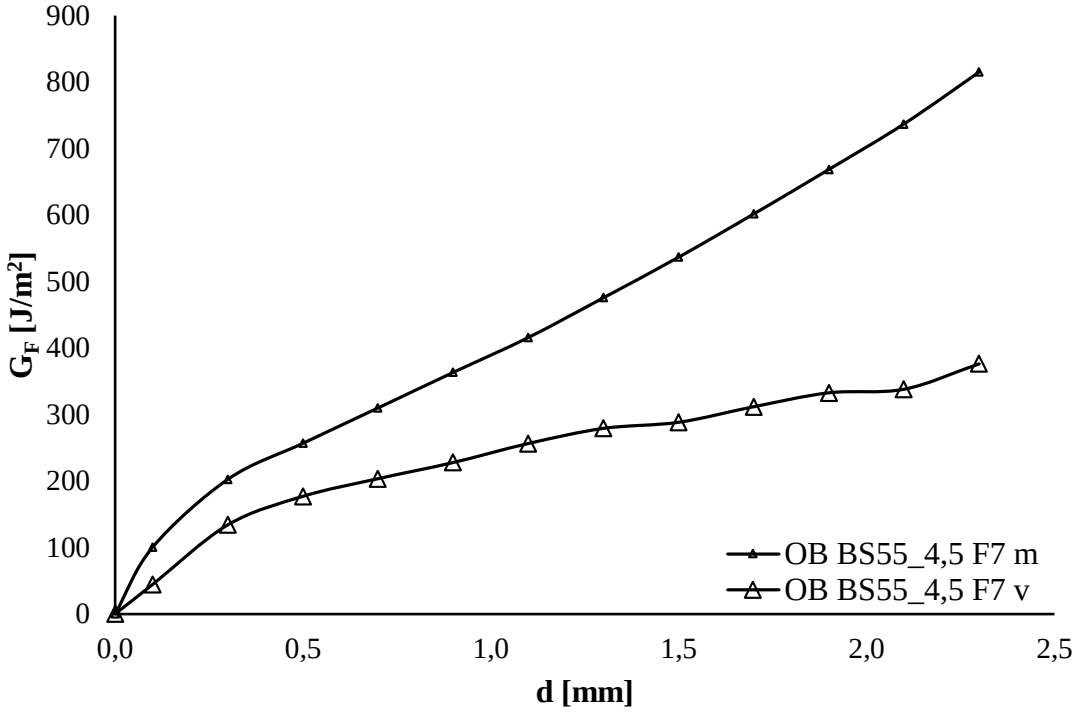

250
200
150
100
50
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
d [mm]
OB ASHP_12 T3 m
OB ASHP_12 T3 v


80
70
60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
d [mm]
OB ASHP_12 T6 m
OB ASHP_12 T6 v

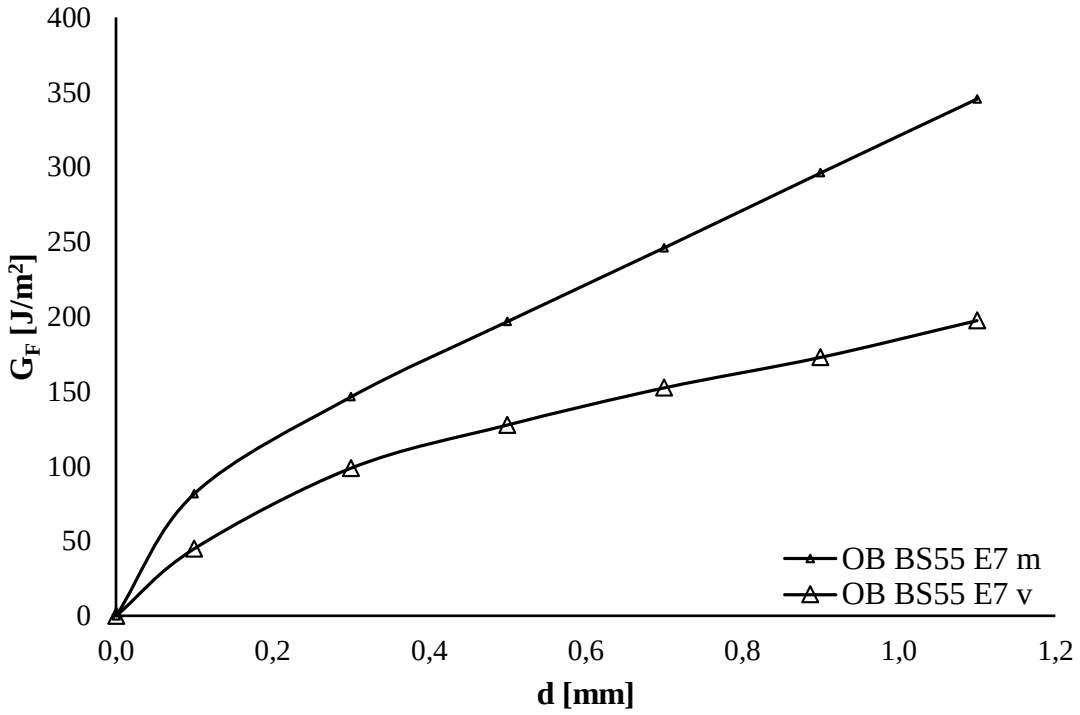
OB BS55_4,5

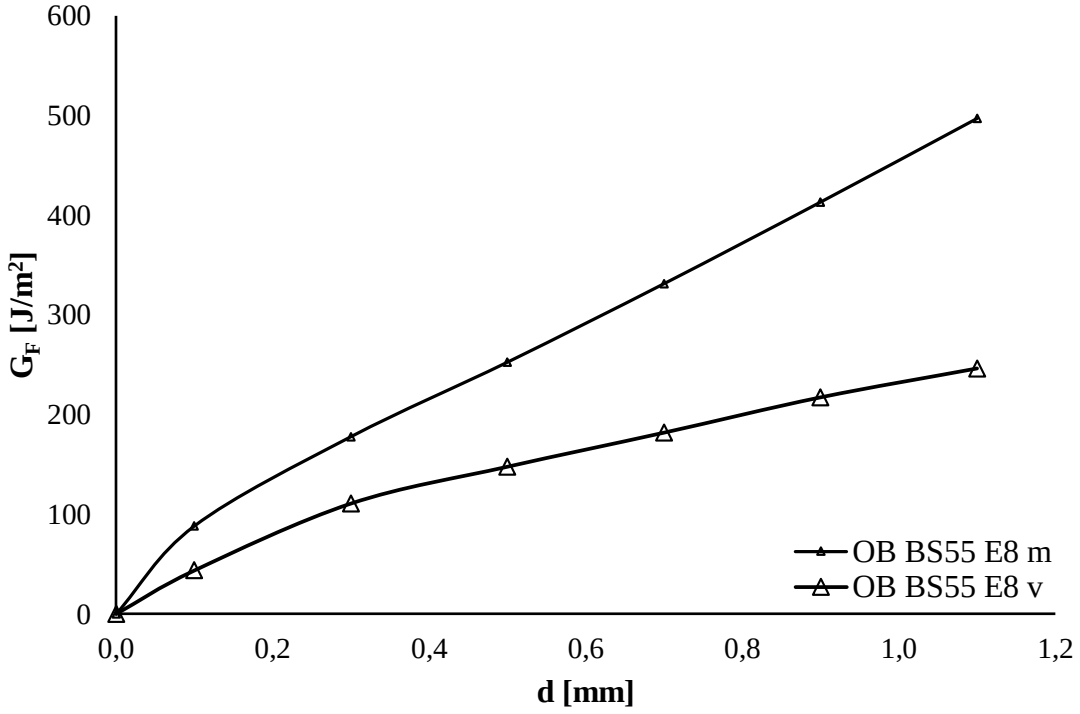

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F1 m
OB BS55_4,5 F1 v

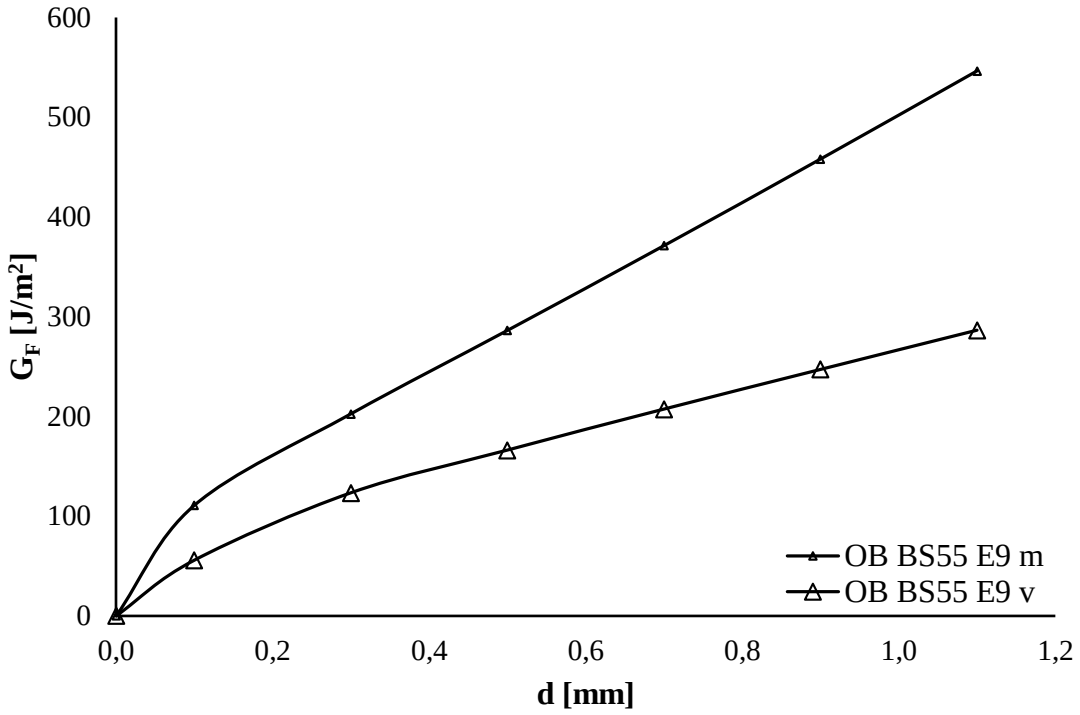

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F5 m
OB BS55_4,5 F5 v


900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
d [mm]
OB BS55_4,5 F7 m
OB BS55_4,5 F7 v

LB BS55

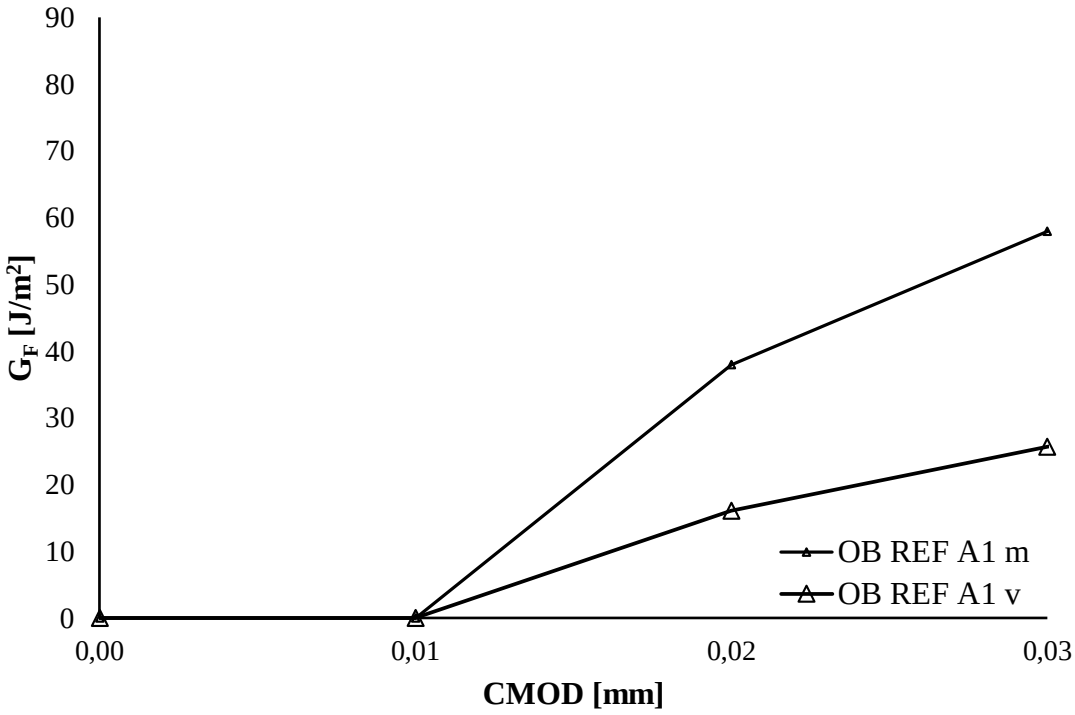

400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E7 m
OB BS55 E7 v

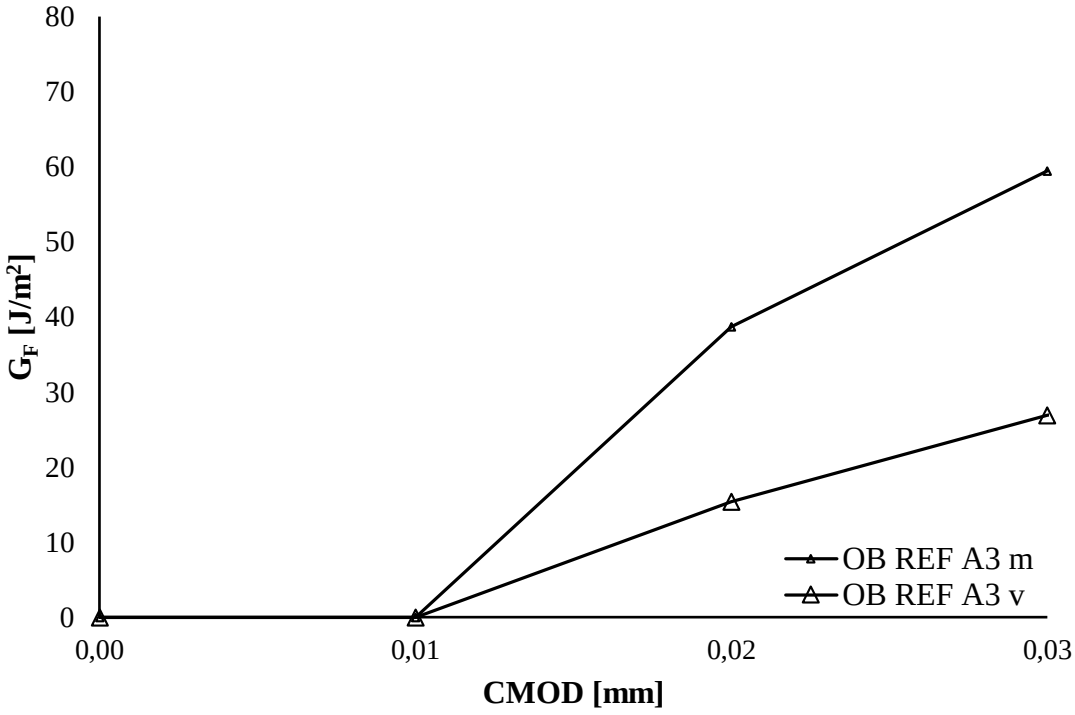

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E8 m
OB BS55 E8 v

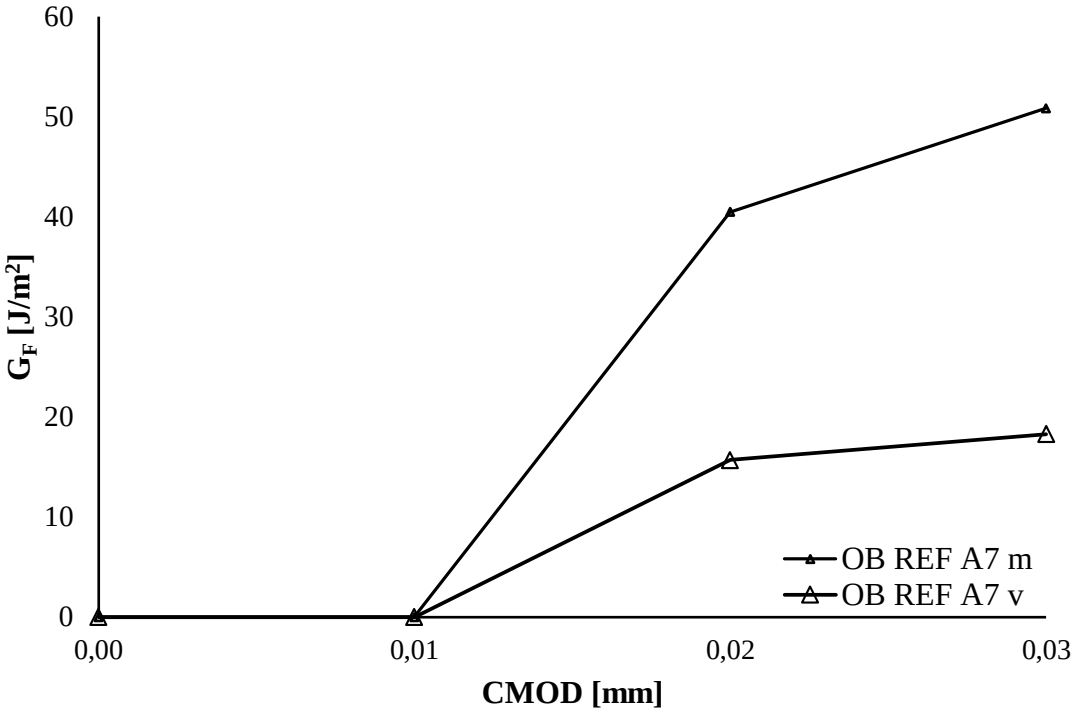

600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
d [mm]
OB BS55 E9 m
OB BS55 E9 v

P8.4 Tělesa z obyčejného betonu – $CMOD$

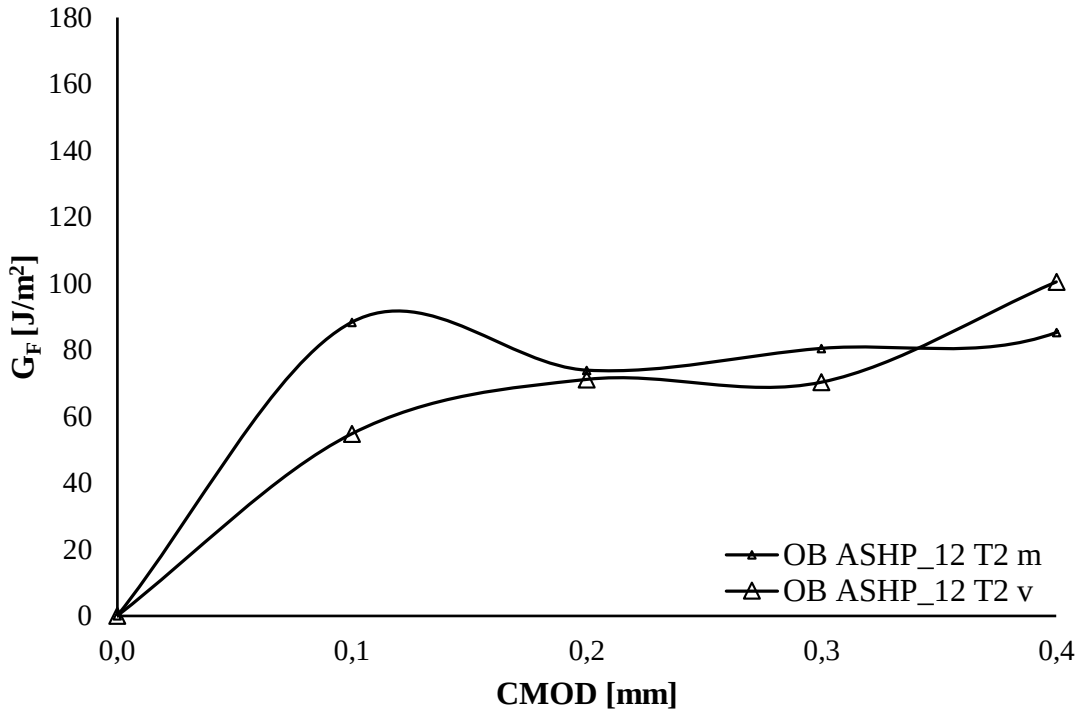
OB REF

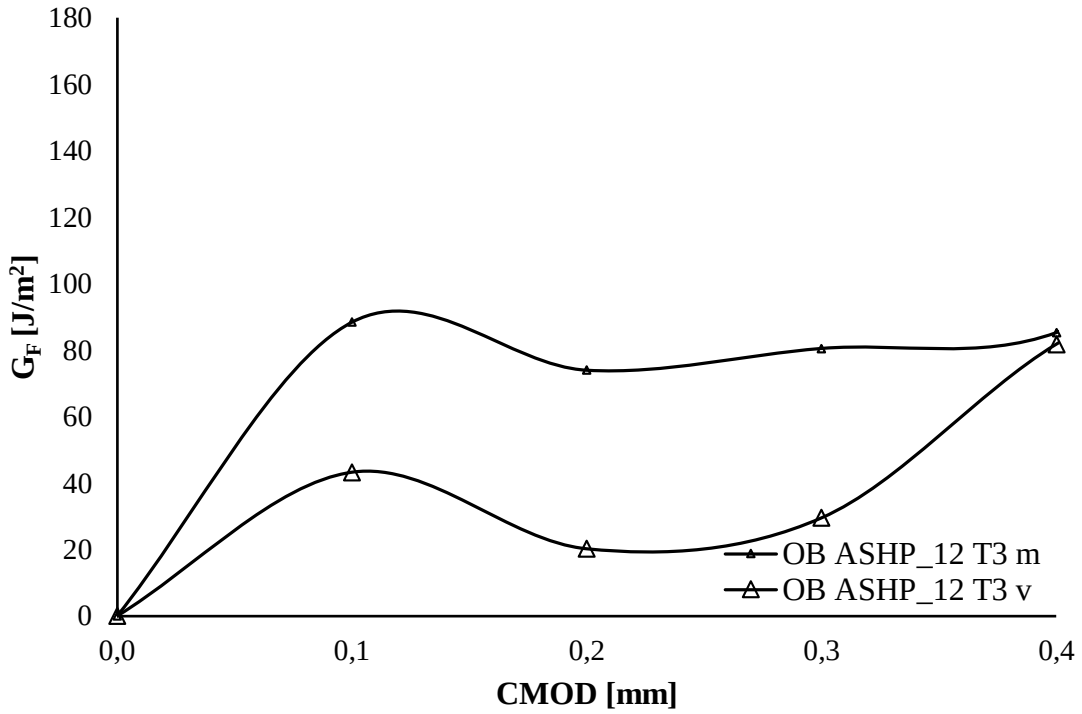


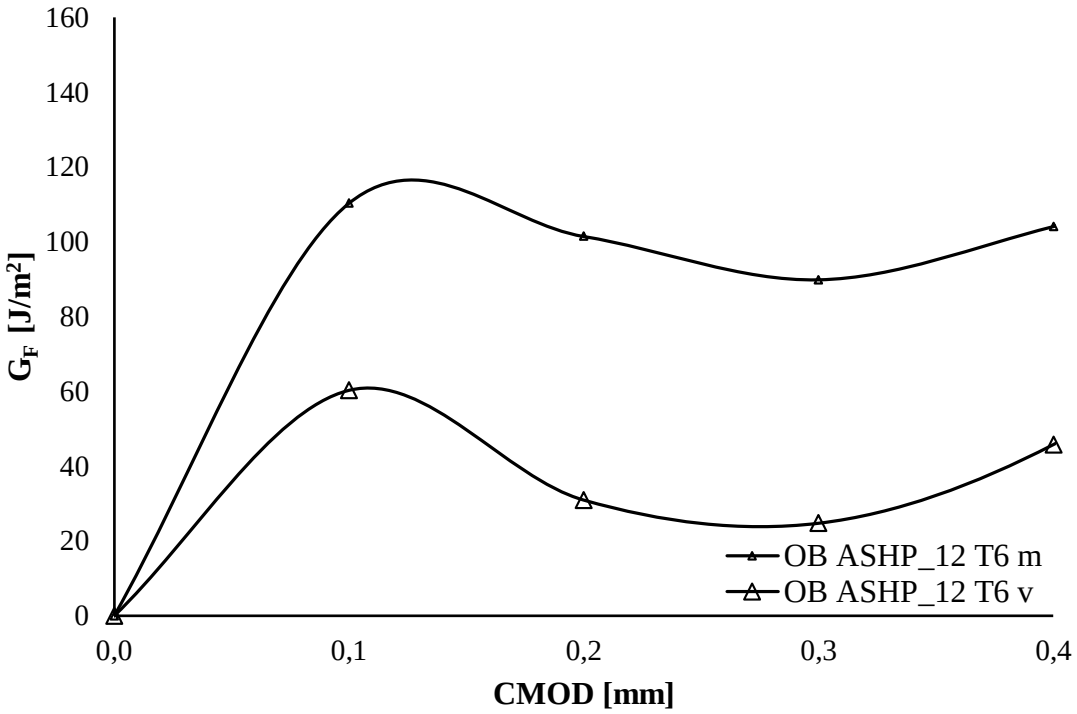



60
50
40
30
20
10
0
G_F [J/m^2]
0,00
0,01
0,02
0,03
CMOD [mm]
OB REF A7 m
OB REF A7 v

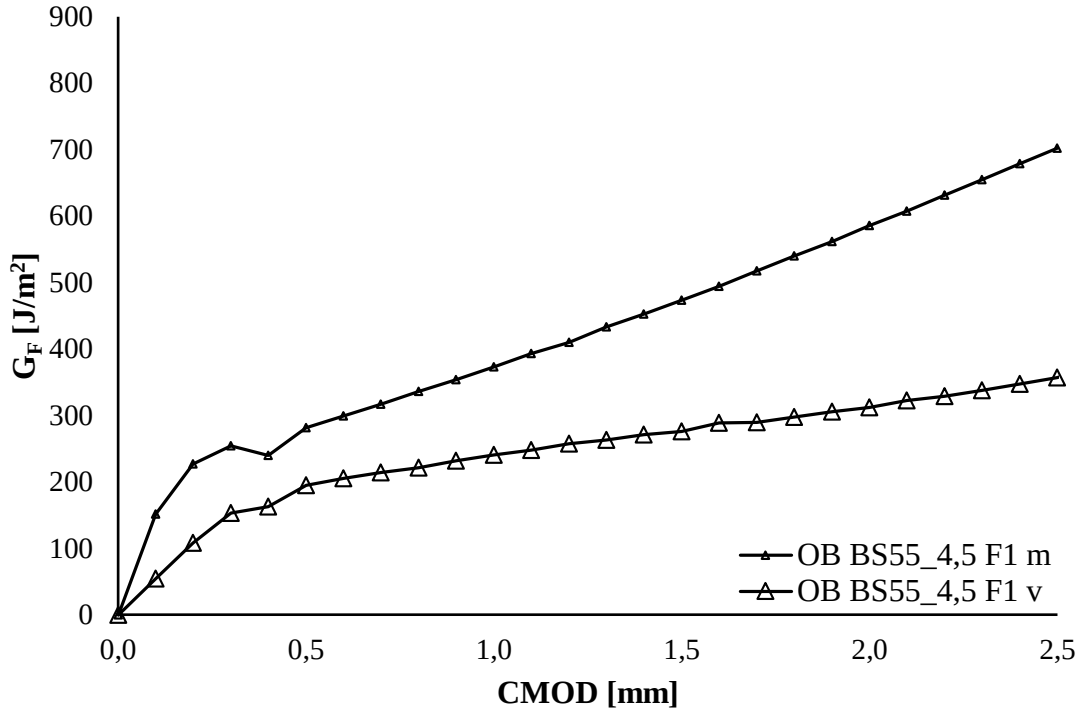
OB ASHP_12

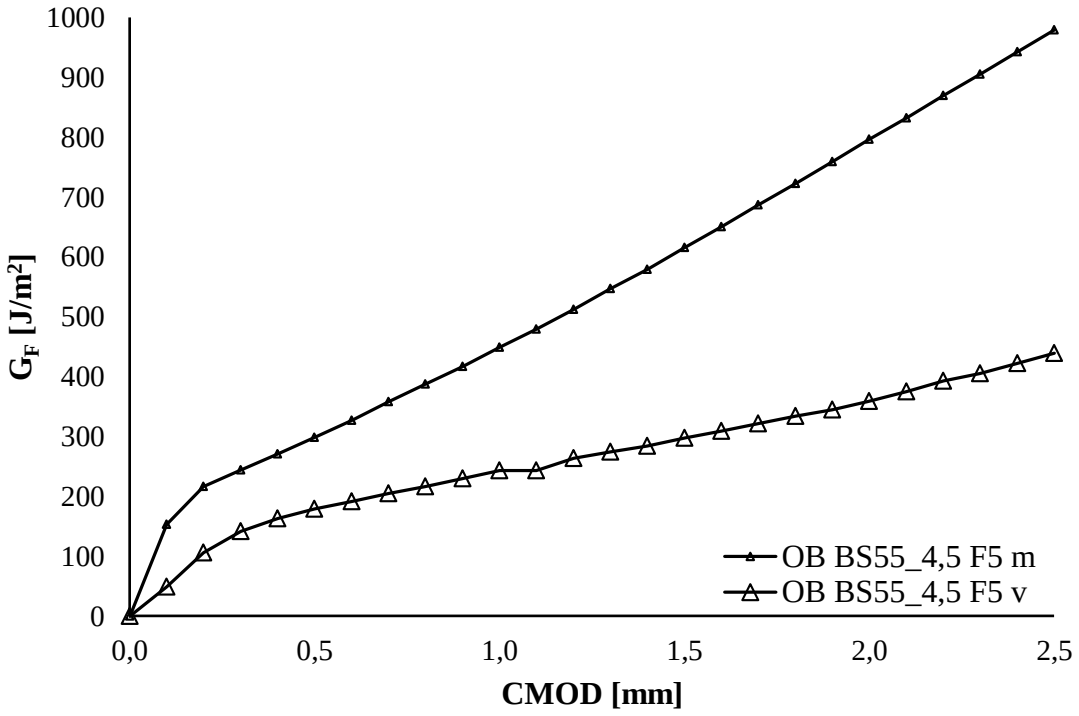

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T2 m
OB ASHP_12 T2 v

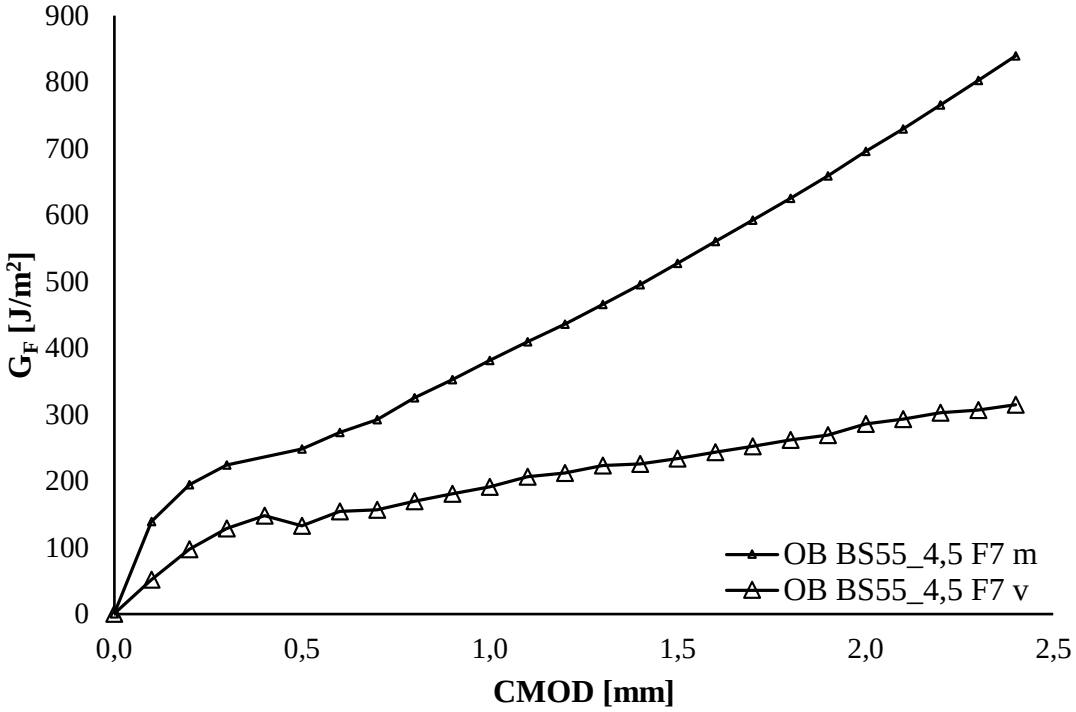

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T3 m
OB ASHP_12 T3 v


160
140
120
100
80
60
40
20
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
CMOD [mm]
OB ASHP_12 T6 m
OB ASHP_12 T6 v

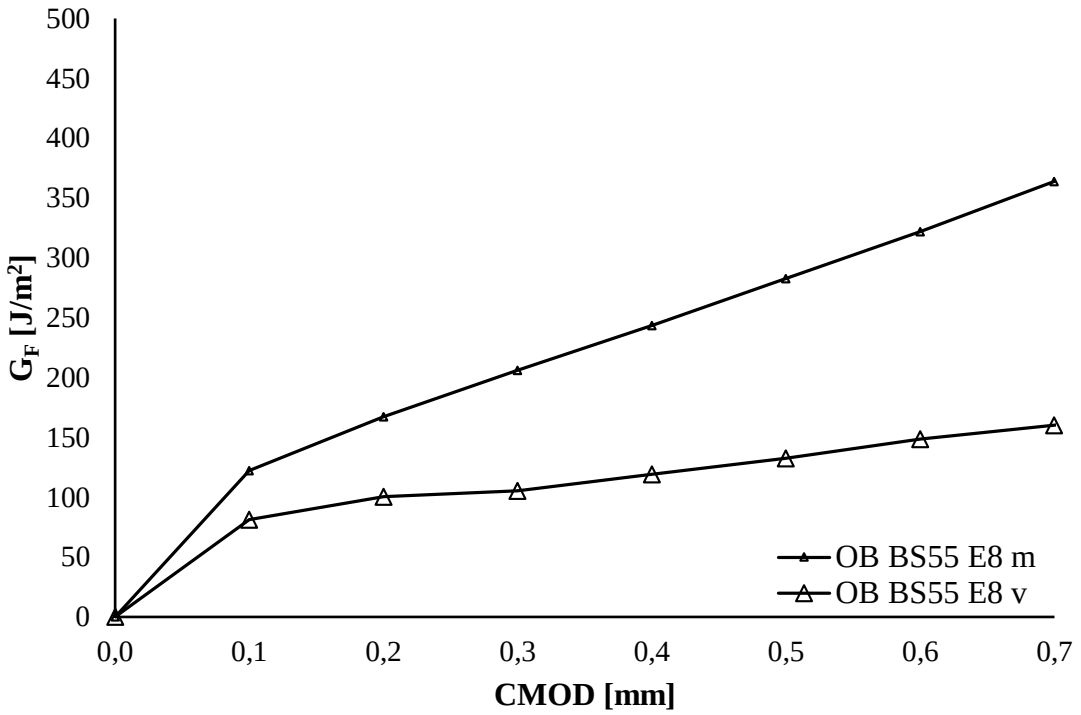
OB BS55_4,5

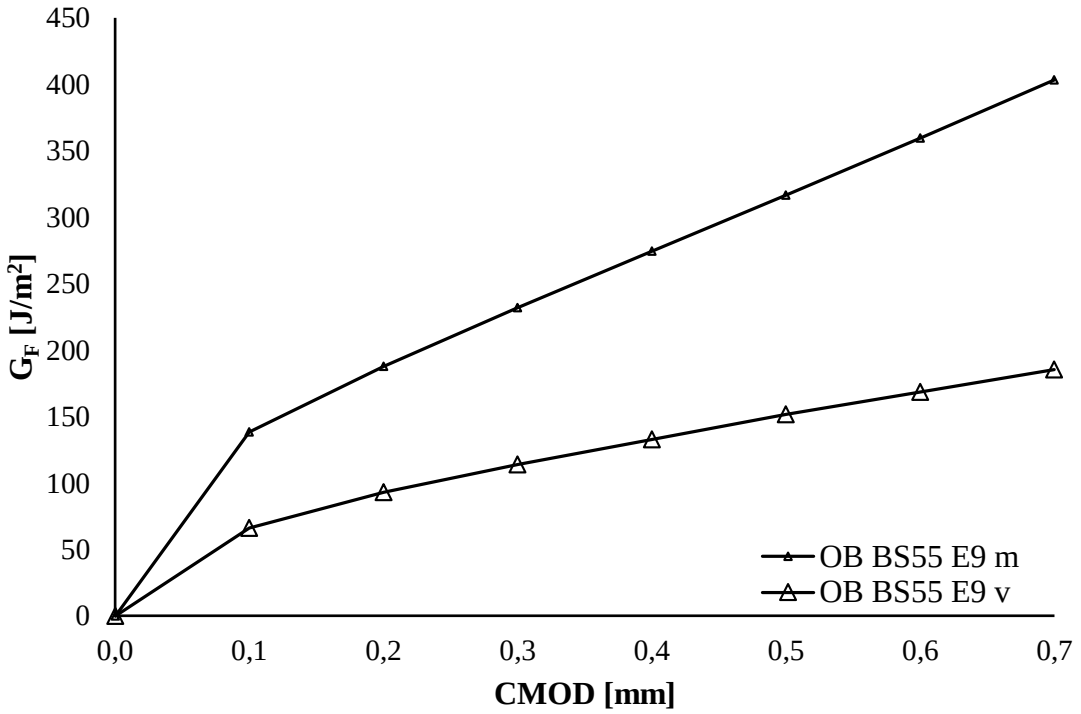

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F1 m
OB BS55_4,5 F1 v


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F5 m
OB BS55_4,5 F5 v


900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
CMOD [mm]
OB BS55_4,5 F7 m
OB BS55_4,5 F7 v

LB BS55


500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
CMOD [mm]
OB BS55 E8 m
OB BS55 E8 v


450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
G_F [J/m^2]
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
CMOD [mm]
OB BS55 E9 m
OB BS55 E9 v