



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Vliv výrobního procesu na mechanické vlastnosti
pryžových zkušebních těles**

**The Influence of the Production Process on
Mechanical Properties of Rubber Testing Samples**

Ing. Adam Škrobák

Program: P3909 Procesní inženýrství
Obor: 3909V013 Nástroje a procesy
Školitel: Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Zlín 2016

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval mému školiteli Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D. za trpělivé vedení během celého doktorského studia a taktéž za odborné rady při vzniku této práce.

Dále bych rád poděkoval svým kolegům a akademickým pracovníkům Ústavu výrobního inženýrství, zejména doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, CSc., doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi, CSc. a Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D. za cenné rady a věcné připomínky.

Společnosti Anvis AVT s.r.o. zastoupené panem Ing. Janem Kolmačkou, CSc. bych chtěl poděkovat za poskytnutí materiálů pro tento výzkum, a také patří velký dík panu Vladimírovi Vojtovi za praktické rady a zprostředkování návštěvy do výrobních prostor společnosti Rubena a.s.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině, zejména svým rodičům za jejich morální a finanční podporu během celého mého vysokoškolského studia.

ABSTRAKT

Disertační práce pojednává o vlivu technologického postupu na fyzikální vlastnosti pryžových zkušebních těles. Cílem práce bylo zjistit, nakolik se liší mechanické a dynamické vlastnosti těles vyrobených standardní technologií přípravy, tedy vyseknutím z vylisované plotničky, a těles vyrobených technologií vstřikování. Třetím způsobem přípravy těles bylo vyseknutí ze vstřikované plotničky. Dalším cílem práce bylo zaznamenat vliv doby vulkanizace na sledované vlastnosti. Nezbytnou podmínkou k tomuto experimentu bylo navrhnout a vyrobit univerzální formu pro vstřikování zkušebních těles a plotničky. K tomuto výzkumu byly použity dvě průmyslově používané gumárenské směsi, určené ke vstřikování výrobků. Jedna směs na bázi přírodního a butadienového kaučuku a druhá směs na bázi etylén-propylen-dienového kaučuku.

Vyrobená tělesa byla následně podrobena tahové zkoušce, strukturní zkoušce (graves, crescent a trouser) zkoušce tvrdosti Shore a dynamické mechanické analýze. V neposlední řadě byla tělesa pro zjištění stupně zesílení podrobena zkoušce botnění v methylbenzenu.

Výsledky tahové zkoušky ukázaly, že standardní způsob přípravy zkušebních těles je použitelný i pro směsi určené k výrobě vstřikovaných výrobků, avšak není zcela objektivní, zejména při testování strukturních vlastností. Dále bylo zjištěno, že způsob plnění má vliv na vnitřní uspořádání makromolekul vulkanizátu, a to i po zesílení.

Na základě výsledků této práce se při výrobě pryžových výrobků vstřikováním doporučuje k testování strukturních vlastností použít zkušební tělesa taktéž vyrobená vstřikováním.

Klíčová slova: lisování, vstřikování, mechanické vlastnosti, zkušební tělesa, vulkanizace, pryž, kaučuková směs

ABSTRACT

The dissertation deals with the impact of the technological procedure on physical properties of rubber testing samples. The objective of the thesis was to find out to what extent the mechanical and dynamic properties of samples which are produced by the standard preparation technology, i.e. cutting out of a compression molded plate, and samples produced by injection molding differ. The third way of sample preparation was cutting out of an injection molded plate. Another objective of the dissertation was to record the impact of the time of curing on the observed properties. A necessary condition of this experiment was designing and producing a universal injection mold for injection molding of the testing samples and the plate. For the purpose of this research two industrially used rubber-making compounds appointed for injection molding of products were used. One compound was on the basis of India and butadiene rubber and the other one on the basis of ethylene-propylene-diene rubber.

The produced samples were then put to the tensile test, graves, crescent and trouser tear test, hardness test Shore and dynamic mechanical analysis. Last but not least the samples were put to the test of swelling in methylbenzene to assess the degree of cross-linking.

The results of the tensile test indicated that the standard method of testing samples preparation can also be used for compounds appointed for the production of injected products. However, it is not wholly objective, especially when testing the structure properties. Moreover, it was discovered that the method of filling has an impact on inner arrangement of the vulcanizate macromolecules, namely also after cross-linking.

On the results of this dissertation it is recommended, in case of producing rubber products by injection molding, to test structure properties by using testing samples also produced by injection molding.

Key words: compression molding, injection molding, mechanical properties, testing samples, cure, rubber, rubber compound

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	6
SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
1.1 ELASTOMERY	13
1.2 KAUČUK.....	14
1.2.1 Přírodní kaučuk.....	14
1.2.2 Syntetický kaučuk.....	15
1.3 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI KAUČUKU	15
1.3.1 Kelvinův model.....	16
1.3.2 Maxwellův model	17
1.3.3 Tuckettův model	18
1.3.4 Teplota skelného přechodu	18
1.3.5 Viskozita	19
1.3.6 Vulkanizovatelnost	19
1.4 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	20
1.4.1 Dvoustupňová příprava.....	23
1.4.2 Třístupňová příprava.....	24
1.4.3 Plniva	24
1.4.4 Zpracovatelské přísady	25
1.4.5 Vulkanizační přísady	25
1.4.6 Složení kaučukové směsi určené ke vstřikování	26
1.5 LISOVÁNÍ	27
1.6 VSTŘIKOVÁNÍ.....	28
1.7 VULKANIZACE.....	30
1.7.1 Prostředí vulkanizace	31
1.7.2 Doba vulkanizace.....	32
1.7.3 Teplota vulkanizace	32
1.7.4 Tlak při vulkanizaci	32
1.8 MĚŘENÍ ZPRACOVATELSKÝCH VLASTNOSTI	32
1.8.1 Měření viskozity Mooney.....	33
1.8.2 Měření vulkanizačních charakteristik.....	34
1.8.3 Rubber Process Analyzer (RPA)	35
1.8.4 Vulkanizační křivka	36
1.9 MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTI	39
1.9.1 Tahová zkouška	39
1.9.2 Zkouška strukturní pevnosti.....	42
1.9.3 Zkouška tvrdosti.....	43

1.10	MĚŘENÍ DYNAMICKÝCH VLASTNOSTI.....	45
2	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE.....	51
3	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	52
3.1	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	52
3.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	52
3.3	ZVOLENÉ MATERIÁLY	55
3.3.1	Kaučuková směs NR+BR	55
3.3.2	Kaučuková směs EPDM	57
3.4	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	59
3.4.1	Příprava těles standardní metodou.....	59
3.4.2	Příprava těles vstříkovaním	60
3.4.3	Příprava těles vyseknutím ze vstříkované plotničky	62
3.5	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	63
3.5.1	Tahová zkouška	63
3.5.2	Zkouška strukturní pevnosti.....	63
3.5.3	Zkouška tvrdosti Shore A	63
3.6	DYNAMICKÁ MECHANICKÁ ANALÝZA (DMA)	64
3.7	ZKOUŠKA STUPNĚ ZESÍTĚNÍ VLIVEM BOTNÁNÍ.....	65
3.8	ZPŮSOB VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	66
4	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE.....	67
4.1	VÝSLEDKY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK KAUČUKOVÉ SMĚSI NR+BR..	67
4.1.1	Výsledky tahové zkoušky	67
4.1.2	Výsledky zkoušek strukturní pevnosti.....	69
4.1.3	Výsledky zkoušky tvrdosti Shore A	71
4.1.4	Výsledky dynamické mechanické analýzy	71
4.2	VÝSLEDKY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK KAUČUKOVÉ SMĚSI EPDM ...	72
4.2.1	Výsledky tahové zkoušky	72
4.2.2	Výsledky zkoušek strukturní pevnosti.....	74
4.2.3	Výsledky zkoušky tvrdosti Shore A	76
4.2.4	Výsledky dynamické mechanické analýzy	77
4.3	VÝSLEDKY ZKOUŠKY ZESÍTĚNÍ BOTNÁNÍM.....	78
4.4	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	80
5	PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI	82
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA.....	89
	CV AUTORA	96
	SEZNAM PŘÍLOH	98

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Kelvinův reologický model	17
Obr. 1.2 Maxwellův reologický model	17
Obr. 1.3 Tuckettův reologický model	18
Obr. 1.4 Závislost viskozity Mooney na teplotě	19
Obr. 1.5 Distributivní míchání	22
Obr. 1.6 Disperzní míchání	22
Obr. 1.7 Lisovací cyklus	27
Obr. 1.8 Vstřikovací cyklus	28
Obr. 1.9 Vznik prostorové makromolekulární struktury	31
Obr. 1.10 Vizkozimetr Mooney	33
Obr. 1.11 Křivka vizkozity Mooney	34
Obr. 1.12 Vulkanometr ODR	35
Obr. 1.13 Vulkanometr MDR	35
Obr. 1.14 Rubber Process Analyser (RPA 2000)	36
Obr. 1.15 Vulkanizační křivka	37
Obr. 1.16 Tahový diagram dvou typů pryží	40
Obr. 1.17 Zkušební těleso trouser pro stanovení strukturní pevnosti	42
Obr. 1.18 Schéma tvrdoměru Shore A s rozměry dle ISO	44
Obr. 1.19 Tvrdoměr OMAG Affri ART 13	45
Obr. 1.20 Mettler Toledo DMA 1	46
Obr. 1.21 Napěťová odezva čistě elastického materiálu	47
Obr. 1.22 Napěťová odezva pro viskoelastický materiál	48
Obr. 1.23 Vektorové znázornění dynamických modulů	48
Obr. 3.1 Zkušební tělesa	52
Obr. 3.2 Vstřikovací forma	53
Obr. 3.3 Výroba vstřikovací formy	54
Obr. 3.4. Výměnné tvarové desky pro výrobu zkušební těles	54
Obr. 3.5. Výměnná tvarová deska pro výrobu plotničky	55
Obr. 3.6 Vulkanizační křivky směsi NR+BR	56
Obr. 3.7 Vulkanizační křivka směsi NR+BR při 100°C	57
Obr. 3.8 Vulkanizační křivky směsi EPDM	58
Obr. 3.9 Vulkanizační křivka směsi EPDM při teplotě 100°C	59
Obr. 3.10 Laboratorní dvouválec Baťa	59
Obr. 3.11 Vulkanizační lis	60
Obr. 3.12 Příprava těles standardní metodou	60
Obr. 3.13 Příprava těles vstřikováním	61
Obr. 3.14 Vertikální vstřikovací stroj REP V27/Y125	61
Obr. 3.15 Příprava těles vyseknutím ze vstřikované plotničky	62
Obr. 3.16 Tahový měřicí přístroj T 2000	63
Obr. 3.17 Zkušební vzorek pro zkoušku DMA	64
Obr. 3.18 Upnutý vzorek v měřicí hlavě přístroje Mettler Toledo DMA 1	64
Obr. 3.19 Vzorek pro zkoušku zesílení botnáním	65

Obr. 4.1 Závislost tahového napětí na době vulkanizace (směs NR+BR).	67
Obr. 4.2 Závislost modulu M100 na době vulkanizace (směs NR+BR) ...	68
Obr. 4.3 Závislost modulu M200 na době vulkanizace (směs NR+BR) ...	68
Obr. 4.4 Závislost modulu M300 na době vulkanizace (směs NR+BR) ...	69
Obr. 4.5 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso graves (směs NR+BR)	69
Obr. 4.6 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso crescent (směs NR+BR)	70
Obr. 4.7 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso trouser (směs NR+BR)	70
Obr. 4.8 Závislost tvrdosti Shore A na době vulkanizace (směs NR+BR).	71
Obr. 4.9 Závislost ztrátového faktoru $\tan \delta$ na době vulkanizace (směs NR+BR)	72
Obr. 4.10 Závislost tahového napětí na době vulkanizace (směs EPDM)..	73
Obr. 4.11 Závislost modulu M100 na době vulkanizace (směs EPDM)	73
Obr. 4.12 Závislost modulu M200 na době vulkanizace (směs EPDM) ...	74
Obr. 4.13 Závislost modulu M300 na době vulkanizace (směs EPDM)	74
Obr. 4.14 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso graves (směs EPDM)	75
Obr. 4.15 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso crescent (směs EPDM)	75
Obr. 4.16 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso trouser (směs EPDM)	76
Obr. 4.17 Závislost tvrdosti Shore A na vulkanizační době (směs EPDM)	77
Obr. 4.18 Závislost ztrátového faktoru $\tan \delta$ na době vulkanizace (směs EPDM)	77
Obr. 4.19 Nárůst hmotnosti vlivem botnění v závislosti na době vulkanizace (směs NR+BR)	78
Obr. 4.20 Nárůst hmotnosti vlivem botnění v závislosti na době vulkanizace (směs EPDM)	79
Obr. 4.21 Šíření trhliny u tělesa graves	81

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Relativní spotřeba nejběžněji používaných kaučuků [19]	14
Tab. 1.2 Mezinárodní klasifikace kaučuku do základních skupin [19]	15
Tab. 1.3 Teploty skelného přechodu běžných kaučuků [7]	18
Tab. 1.4 Všeobecné složení kaučukové směsi [2]	21
Tab. 1.5 Příklad složení kaučukové směsi ke vstřikování [37]	26
Tab. 1.6 Rozměry zkušebních těles typu dumbbell	41
Tab. 3.1 Fyzikální vlastnosti materiálu EN AW-7022[22].....	53
Tab. 3.2 Složení směsi NR+BR	55
Tab. 3.3 Vulkanizační parametry při 160°C	56
Tab. 3.4 Složení směsi EPDM	57
Tab. 3.5 Vulkanizační parametry při 170°C	58
Tab. 3.6 Procesní podmínky výroby zkušebních těles.....	62
Tab. 4.1 Relativní nárůst (pokles) měřených vlastností k tělesům vyrobeným standardním postupem	80

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Hliník
BR	Butadienový kaučuk
Cu	Měď
CNC	Počítačově číslicově řízený obráběcí stroj
C'	Elastická poddajnost
C''	Ztrátová poddajnost
C*	Komplexní poddajnost
ČSN	Česká technická norma
d	Průměr zakřivení modelového zářezu [mm]
dsk	Stav gumárenské přísady na sto dílům kaučuku
DMA	Dynamická mechanická analýza
EPDM	Ethylen-propylen-dienový kaučuk
EVA	Ethylen-vinyl-acetát
E'	Elastický modul (soufázový) v tahu [MPa]
E''	Ztrátový modul v tahu [MPa]
E*	Komplexní modul pružnosti v tahu [MPa]
E _p	Deformační energie [J]
F	Zatěžující síla [N]
f	Frekvence [Hz]
G	Smykový modul [MPa]
G'	Elastický (soufázový) modul ve smyku [MPa]
G''	Ztrátový modul ve smyku [MPa]
G*	Komplexní modul pružnosti ve smyku [MPa]
h	Tloušťka zkušebního tělesa [mm]
HB	Tvrдость podle Brinella
ISO	Mezinárodní norma
k	Boltzmannova konstanta
L	Velký typ rotoru
M	Viskozita Mooney
M100	Modul v tahu při 100% prodloužení [MPa]

M200	Modul v tahu při 200% prodloužení [MPa]
M300	Modul v tahu při 300% prodloužení [MPa]
MDR	Bezrotorový vulkanometr
Mg	Hořík
Mk	Krouticí moment [dN.m]
M _H	Maximální krouticí moment [dN.m]
M _L	Minimální krouticí moment [dN.m]
n	Jednotkový objem; výběrový soubor dat
NC	Číslicové řízení
NX	Komerční software pro konstrukci a výrobu
ODR	Vulkanometr s oscilačním diskem
RPA	Rubber proces analyzer – typ bezrotorového vulkanometru
R	Variační rozpětí
s	Směrodatná odchylka
S	Napětí v tahu [MPa]
S'	Elastická složka krouticího momentu
SBR	Styren-butadienový kaučuk
T	Teplota [°C, K]; deformační práce [N.mm ⁻²]
t	Čas [s]
t ₁₀	Čas k dosažení 10% vulkanizace
t ₅₀	Čas k dosažení 50% vulkanizace
t ₉₀	Čas k dosažení 90% vulkanizace
tan δ	Dynamický ztrátový faktor
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
TS	Mez pevnosti v tahu [MPa]
T _S	Strukturní pevnost [N/mm]
T _{Sg}	Strukturní pevnost tělesa graves [N/mm]
T _{Sc}	Strukturní pevnost tělesa crescent [N/mm]
T _{St}	Strukturní pevnost tělesa trouser [N/mm]
t _{s1} , t _{s2}	Zpracovatelská bezpečnost kaučukové směsi
u _A	Nejistota měření typu A
v _x	Variační koeficient [%]

\bar{x}	Odhad aritmetického průměru
\tilde{x}	Odhad mediánu
Zn	Zinek
δ	Úhel zpoždění činné a ztrátové složky dynamického modulu
$\dot{\gamma}$	Rychlost smykové deformace [s^{-1}]
γ	Deformace
σ	Napětí v tahu [MPa]
σ'	Činná složka napětí [MPa]
σ''	Ztrátová složka napětí [MPa]
τ	Napětí ve smyku [MPa]
η	Dynamická viskozita [Pa.s]
ω	Úhlová rychlost [$rad.s^{-1}$]

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Technologie vstřikování se v posledních letech ukazuje jako velmi produktivní výrobní proces. Výhody plně automatizovaného procesu a rychlost převedení materiálu na finální výrobek bez nutnosti dalších dokončovacích operací neustále zvyšuje zájem o tuto technologii. Technologie vstřikování je především určena pro velkosériové a hromadné výroby, zejména v automobilovém průmyslu. Je jedním z hlavních způsobů produkce výrobků z termoplastů a stále více se uplatňuje i při výrobě pryžových výrobků. Vstřikování kaučukových směsí je především využíváno k výrobě menších, tvarově náročnějších a rozměrově přesnějších výrobků. Náklady spojené se vstřikováním mohou být podstatně vyšší než u jiných zpracovatelských procesů, jako např. lisování a přetlačování. Avšak s nepřetržitou produkcí a počtem vyrobených výrobků, mají vložené investice brzkou návratnost. Každý pryžový výrobek musí splňovat požadované vlastnosti, které jsou na něho vzhledem k jeho funkčnosti kladeny. Základem jsou fyzikální vlastnosti, které zejména ovlivňuje použitý materiál, tedy kaučuková směs.

Výzkum v gumárenském odvětví se spíše zabývá problémem, jak jsou ovlivňovány mechanické vlastnosti samotným složením receptur jednotlivých kaučukových směsí, nebo vlivem technologických podmínek, ať už při zpracování nebo výrobě samotné. Nezabývá se však vlivem změny celého výrobního procesu. Ve výrobě pryžových výrobků dominuje především lisování, zejména při výrobě pneumatik. Ovšem tam, kde to je technologicky možné, začíná vstřikování nahrazovat lisování. Produkce vstřikovaných výrobků v gumárenském průmyslu rok od roku roste. Vstřikování je velmi vhodné zejména pro výrobky, jejichž nosnou část tvoří kov nebo plast a tlumící část tvoří pryž. Vstřikováním se hojně vyrábějí tlumící a těsnící prvky, zejména pro automobilový průmysl.

Během vstřikovacího procesu dochází k odlišným dějům než při běžném lisovacím procesu, zejména ve fázi vstřiku, kdy na směs vlivem tlaku působí značně velké smykové rychlosti uvnitř tokového kanálu. Dochází tak k odlišným distribucím materiálu v dutině formy než u lisování, kdy je materiál při plnění dutiny tlakem vyvozeným uzavřením formy přetvářen zdaleka menší smykovou rychlostí. Tyto rozdílné podmínky přetváření materiálu mohou ovlivňovat jeho mechanické vlastnosti, které převezme výsledný výrobek, ať je to pevnost v tahu, strukturní pevnost, tvrdost apod. Pryžové výrobky vyrobené vstřikováním tak mohou vykazovat odlišné mechanické vlastnosti, než tytéž výrobky vyrobené lisováním. [1]

V průmyslové výrobě se mechanické vlastnosti pryžových výrobků testují vždy na vyseknutých zkušebních tělesech z vylisované plotničky. Tuto metodu přípravy zkušebních těles sice předepisuje norma, avšak při vstřikování gumárenské směsi mohou být výsledky těchto testů vzhledem k technologii přípravy zkušebních těles nepřesné.

Doposud nebyl zaznamenán výzkum, který by jasně definoval, do jaké míry proces vstřikování ovlivňuje mechanické vlastnosti výsledného výrobku. Jinými slovy, zda lze konstatovat, že výsledné mechanické vlastnosti pryžového výrobku se s ohledem na použitou technologii mění či nikoli. Tato práce si klade za cíl možné rozdíly zaznamenat a v co největší šíři popsat.

Pro lepší porozumění dané problematiky jsou další podkapitoly věnovány teorii z oblasti gumárenské technologie.

1.1 Elastomery

Elastomery patří do skupiny polymerů a jsou významným konstrukčním materiálem, se kterým je možno se setkat snad v každém výrobním oboru, stroji, přístroji či zařízení. Jejich významnou roli potvrzuje i ta skutečnost, že se mohou stát v součástkové základně stroje rozhodující z hlediska jeho životnosti a spolehlivosti. Stejně jako jiné konstrukční materiály, je možné vhodnou skladbou kaučukové směsi a použitím gumárenských surovin získat materiály o potřebných, nebo speciálních vlastnostech.

Lidstvo poznalo a využívalo elastomerní materiály již před více jak dvanácti tisíci lety a to elastomery nabízené přírodou. První využití kaučuků se datuje od 15. století. Pro průmyslové využití byl rozhodující objev vulkanizace. Spotřeba elastomerů a kaučuků pak rostla a roste s rozvíjející se lidskou civilizací a zejména s nastupující technikou. K elastomerům přírodním se od 19. století přidaly elastomery chemicky připravené – syntetické. Tím se otevřela pro chemiky a konstruktéry široká oblast přípravy orientovaných vlastností elastomerů a nové oblasti jejich použití. Svědčí o tom ohromný nárůst spotřeby základních kaučuků a gumárenských surovin. Ruku v ruce s rozvojem elastomerů rostla a rozvíjela se i teoretická oblast. Ta byla zaměřena na poznání chemické části elastomerů a gumárenských surovin.

Elastomer je každý lineární polymer, který je při běžné teplotě malou silou značně deformovatelný, aniž by vykazoval porušení, tj. vykazuje tzv. kaučukovou elasticitu. Elastomery lze obecně považovat za vysoce kondenzované plyny, protože většina dílčích monomerů se vyskytuje v plynném skupenství.

Elastomer je výjimečný svou velkou pružnou deformací. V inženýrské praxi je smykový modul G elastomerů definován jako součin počtu řetězců elastomeru v jednotkovém objemu n , Boltzmannovy konstanty k a teploty T ve stupních Kelvina. Mnoho elastomerních materiálů má při stejné teplotě (nad bodem skelného přechodu) podobné hodnoty smykového modulu G nebo tvrdosti. Teplota a některé další parametry mají výrazný vliv na jejich vlastnosti. Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které se dále rozdělují na přírodní a syntetické materiály. Kromě všech kaučuků patří mezi elastomery např. polyizobutylene, měkčený polyvinylchlorid a měkčený polyvinylbutyral.

Vzhledem k prudkému rozvoji nových síťovacích systémů v poslední době je stále více lineárních polymerů převeditelných do zesíťovaného stavu. [2]

1.2 Kaučuk

Kaučuk je elastomer schopný vulkanizace, tj. polymer, převeditelný chemickou reakcí z lineárního do rovnoměrně zesíťovaného stavu. Síťovací reakce v kaučucích se nazývá vulkanizace. Kaučuk je základní složka, která dává jak směsi, tak i vulkanizátu (pryži) základní charakteristické vlastnosti.

Existuje široká škála kaučuků s typickými vlastnostmi, podle kterých se volí vhodný kaučuk pro potřebnou aplikaci. Tabulka (Tab. 1.1) ukazuje relativní spotřebu základních kaučuků v roce 1999. [18, 19]

Tab. 1.1 Relativní spotřeba nejběžněji používaných kaučuků [19]

Zkratka	Název	Spotřeba [%]	Použití
NR	přírodní kaučuk	32	pro všeobecné použití
IR	izoprenový kaučuk	3	
SBR	butadien-styrenový kaučuk	37	
EPD/EPDM	ethylen-propylenový kaučuk	7	
BR	butadienový kaučuk	10	
IIR	butyl kaučuk	3	
CR	chloroprenový kaučuk	3	olejovzdorné
NBR	butadien-akrylonitrilový kaučuk	3	
ACM	akrylátový kaučuk	0,5	
OT	polysulfidový kaučuk	0,1	
MQ	silikonový kaučuk	0,1	teplouvzdorné
FPM	fluorouhlíkový kaučuk	0,1	

1.2.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk je získávaný ze stromu *Havea brasiliensis*, který se vyskytuje v subtropickém až v tropickém páse. S umělým pěstováním tohoto stromu se začalo po roce 1900 v Jižní Americe, jihovýchodní Asii a Africe. Po nařezání stromové kůry začne vytékat bílá kapalina, nazývaná latex, která obsahuje 30 ÷ 40 % koloidních částic kaučuku, z jednoho stromu je možné získat 5 ÷ 25 kg kaučuku. Kaučuk se vysráží například pomocí kyseliny mravenčí, vypere vodou a vysuší. V závislosti od sušícího média vznikne bílá krepa (teplý vzduch) nebo hnědá krepa (dým). [18, 19]

Většina dodávaných typů přírodního kaučuku má vzhledem k vysoké molekulové hmotnosti vysokou viskozitu a musí být před zpracováním nejprve upraveny plastikací (tzv. mechanickým odbouráním, lámáním dlouhých řetězců, za účelem schopnosti kaučuku přijímat další přísady). Po plastikaci mají směsi obvykle dobré zpracovatelské vlastnosti, dobrou pevnost před vulkanizací (tzv. green strength), vysokou konfekční lepivost a vysokou rychlost vulkanizace. [18, 19]

1.2.2 Syntetický kaučuk

Hlavními představiteli syntetických kaučuků pro běžné použití jsou homopolymery a kopolymery izoprenu a butadienu. Obsahují v hlavních řetězcích svých makromolekul dvojně vazby, jsou tedy nenasycené. Proto k jejich vulkanizaci se nejčastěji využívá elementární síra. Nejběžnějším plnivem jsou pro ně saze. [14, 18, 19]

Velký počet různých druhů průmyslově vyráběných kaučuků si vyžádal jejich klasifikaci a jejich dlouhé názvy často vedly k používání zkratk. Zavedené mezinárodní zkratky vychází z třídění kaučuku do 8 základních skupin podle chemické struktury (Tab. 1.2). [18, 19]

Tab. 1.2 Mezinárodní klasifikace kaučuku do základních skupin [19]

Označení skupiny	Chemická struktura makromolekulárního řetězce
M	nasycený uhlovodíkový řetězec
R	nenasycený uhlovodíkový řetězec
N	řetězec obsahující atomy dusíku
O	řetězec obsahující atomy kyslíku
Q	řetězec obsahující siloxanové vazby (-Si-O-)
T	řetězec obsahující atomy síry
U	řetězec obsahující současně atomy dusíku a kyslíku
Z	řetězec obsahující současně atomy fosforu a dusíku

1.3 Reologické vlastnosti kaučuku

Základní vlastností pryžových materiálů je jejich viskoelastické chování. Časový průběh deformace jako odezvy na přiložené napětí obecně nekopíruje časový průběh síly. Pryž vykazuje hysterezi a postupnou relaxaci deformační odezvy. Takové chování lze popisovat pomocí různých kombinací základních prvků Hookovské pružnosti a Newtonského viskózního toku, jejichž chování lze popsat lineární závislostí mezi napětím a deformací prostřednictvím modulu

pružnosti G , resp. napětím a rychlostí deformace prostřednictvím viskozity η . [13]

$$\sigma = G\gamma \quad (1.1)$$

$$\sigma = \eta\dot{\gamma} = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (1.2)$$

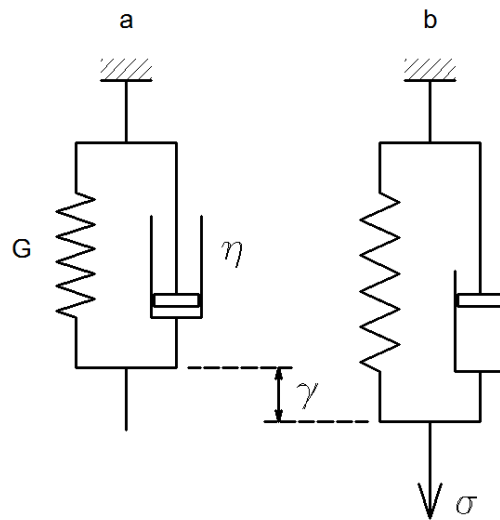
Pro popis viskoelastického chování byly určeny reologické modely, ve kterých mezi sebou figurují různě spojené pružné a viskózní členy (sériově, paralelně, sérioparalelně). Pružné členy představují pružiny, jejichž napětí je lineární funkcí deformace a viskózní členy představují píсты, u nichž je napětí lineární funkcí smykové rychlosti. Násobnost a vzájemné řazení těchto členů do modelu dovoluje v různé míře vystihnout celkovou nelineárnost elasticity a relaxační časovou odezvu daného pryžového materiálu. Mezi tři základní „učebnicové“ reologické modely dle [13], patří paralelní spojení pružného a viskózního členu – Kelvinův model, sériové spojení těchto základních členů je Maxwellův model a sériové spojení obou jmenovaných modelů je model Tuckettův. Čím větší je počet prvků v modelu, tím lépe vystihuje model reologické chování reálného systému. [13]

1.3.1 Kelvinův model

Při paralelním spojení pružiny s pístem je přechod pružiny z jednoho deformačního stavu do druhého brzděn – zpoždován viskozním tokem. Kelvinův model se tedy deformuje vratně, ale jeho elasticita není okamžitá, nýbrž časově závislá. Je to elasticita bržděná, zpožděná. Diferenciální rovnice Kelvinova modelu plyne z podmínky, že deformace obou prvků jsou stejné a že napětí obou prvků přispívají aditivně k napětí celkovému:

$$\gamma_{pruž} = \gamma_{píst} = \gamma \quad (1.3)$$

$$\sigma_{pruž} + \sigma_{píst} = \sigma \quad (1.4)$$



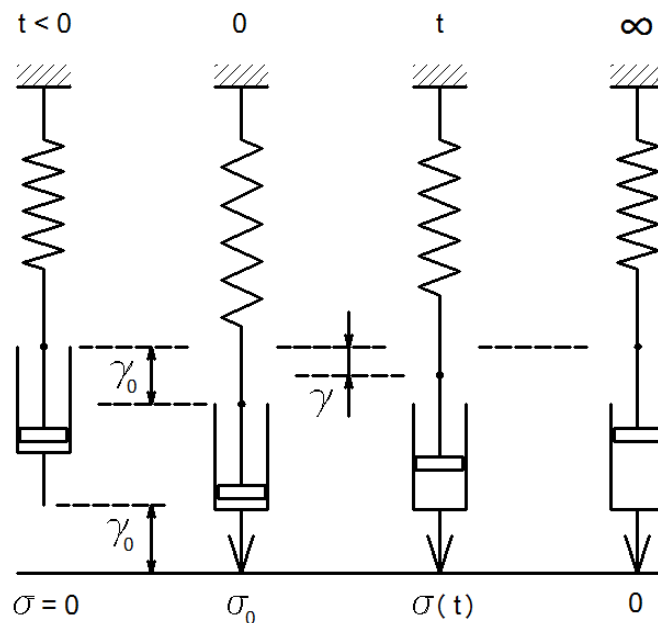
Obr. 1.1 Kelvinův reologický model
a) nedeformovaný, b) deformovaný účinkem napětí

1.3.2 Maxwellův model

Maxwellův reologický model popisuje tok komplikovaný elasticitou nebo naopak elasticitu, která odeznívá tokem. Při sériovém spojení prvků je celková deformace rovna součtu deformací prvků, kdežto napětí je v obou prvních a v celém modelu stejné [13]:

$$\sigma_{pruž} = \sigma_{píst} = \sigma \tag{1.5}$$

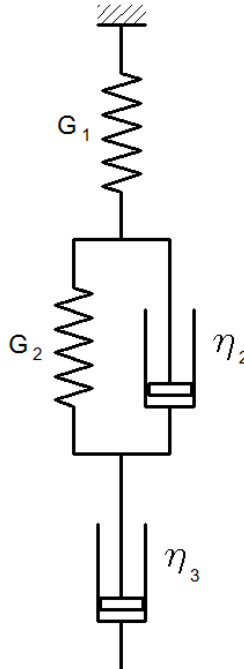
$$\gamma_{pruž} + \gamma_{píst} = \gamma \tag{1.6}$$



Obr. 1.2 Maxwellův reologický model

1.3.3 Tuckettův model

Tuckettův model je sériové spojení pružiny s modulem G_1 , Kelvinova modelu s modulem G_2 a viskozitou η_2 a tokového prvku s viskozitou η_3 . Je tedy schopen kvalitně předpovědět viskoelastické chování lineárního amorfního polymeru, jestliže se přisoudí jeho čtyřem parametrům přiměřené hodnoty. [13]



Obr. 1.3 Tuckettův reologický model

1.3.4 Teplota skelného přechodu

Všechny kaučuky mají mít schopnost, aby vulkanizáty z nich připravené byly použitelné v rozmezí běžných teplot, při nichž pracuje člověk. Proto jejich teplota skelného přechodu bývá podstatně menší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hodnoty teploty skelného přechodu T_g běžných kaučuků uvádí tabulka (Tab. 1.3). [13]

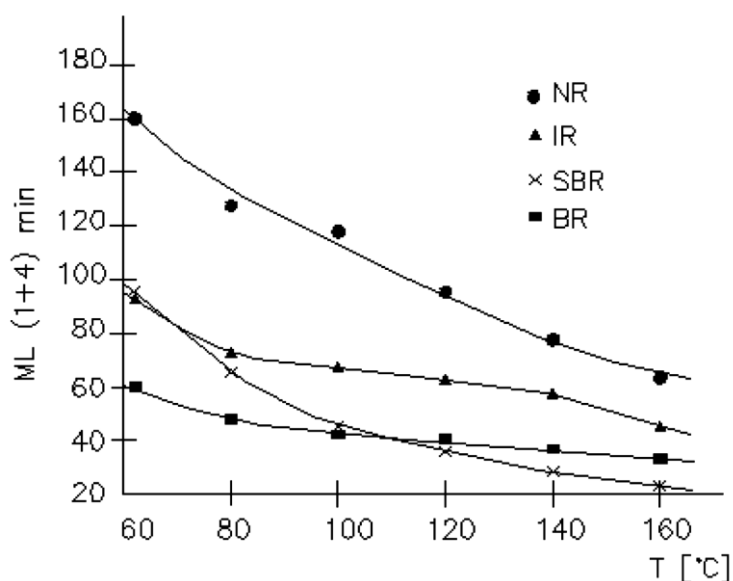
Tab. 1.3 Teploty skelného přechodu běžných kaučuků [7]

Kaučuk	Teplota skelného přechodu T_g [$^{\circ}\text{C}$]
Silikonový kaučuk	-120
Butadienový kaučuk	-100
Butylkaučuk	-80
Přírodní a izoprenový kaučuk	-75
Butadien-styrenový kaučuk	-60

1.3.5 Viskozita

Charakteristickou vlastností, závislou na molární hmotnosti kaučuku a její disperzitě, je jeho viskozita. Viskozita charakterizuje zpracovatelnost kaučuku, tj. schopnost být mechanicky hněten a dále zpracováván. K tomuto účelu se nejčastěji používá viskozita Mooney. Její hodnota se u tzv. přímo zpracovatelných kaučuků pohybuje většinou kolem 50 ML (1+4) při 100 °C.

Střední molární hmotnost kaučuku a disperzita hmotností jeho makromolekul závisí na způsobu výroby kaučuku a mění se i při jeho zpracování. Viskozita kaučuků závisí na teplotě, se vzrůstem teploty v důsledku poklesu mezimolekulárních soudržných sil klesá (Obr. 1.4). Snižováním teploty viskozita kaučuku vzrůstá, a to tím více, čím více se blíží k jeho teplotě zesklennění T_g . Při pomalém ochlazování snadno krystalizujících kaučuků dochází k jejich samovolné krystalizaci a tím k tvrdnutí kaučuku nad teplotu zesklennění. Největší rychlost krystalizace má přírodní kaučuk při teplotě -25 °C. Teplota, při které se odbourává krystalická fáze přírodního kaučuku, se pohybuje od 40 do 60 °C. [7]



Obr. 1.4 Závislost viskozity Mooney na teplotě

1.3.6 Vulkanizovatelnost

Přímo zpracovatelné kaučuky (syntetické a novější druhy kaučuku přírodního) nebo lámaný kaučuk a jejich směsi s přísadami se vyznačují schopností měnit poměrně snadno tvar působením napětí. Vytvořená deformace má převážně nevratný charakter. Mají tedy dostatečnou plasticitu, zejména při teplotách nad 100 °C. Pryžový výrobek však musí mít stabilní tvar a dobré

mechanické vlastnosti. Potřebné změny těchto vlastností se docilují vytvořením prostorové makromolekulární sítě.

Vulkanizací kaučuk podstatně mění prakticky všechny svoje vlastnosti. Ztrácí také rozpustnost v rozpouštědlech; pouze v nich botná, a to tím méně, čím více je z vulkanizován. Teplota skelného přechodu se vulkanizací prakticky nemění (nepatrně vzrůstá). Vulkanizací přírodního a ostatních krystalizujících kaučuků se zmenšuje sklon k jejich samovolné krystalizaci. Tím se rozšiřuje teplotní oblast použitelnosti pryže (u přírodního kaučuku až do teplot kolem $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), což je v mnoha aplikacích důležité (pneumatiky v zimě). Fyzikální vlastnosti vulkanizovaného kaučuku (pryže), se však s teplotou mění málo. [7]

1.4 Příprava kaučukové směsi

Pojmem kaučuková směs se rozumí směs vzájemně mísitelných kaučuků (přírodních, syntetických nebo jejich kombinací) s dalšími přísadami, kterými se upravuje její zpracovatelnost, umožňuje vulkanizace a také určují konečné vlastnosti produktu (vulkanizátu). Kvalita vulkanizátu je jedním ze základních předpokladů pro kvalitní gumárenský výrobek. Gumárenské výrobky plní různé funkce, a proto se také liší druhy kaučukových směsí, ze kterých jsou vyrobené.

Skladba kaučukové směsi vyžaduje komplex chemických a procesních znalostí. Praktické zkušenosti a teoretické vědomosti mnohokrát uspoří mnoho experimentální práce. Taktéž dobrého výsledku se dá docílit s použitím nejrůznějších druhů základních surovin a přísad. Přitom je však zapotřebí splnit mnoho požadavků na kaučukovou směs a na vulkanizát.

V neposlední řadě je třeba vyrábět ekonomicky výhodně, velmi drahé směsi se obvykle neprosadí. Ovšem jsou i výjimky, kde cena není určujícím faktorem a na prvním místě je kvalita.

Jak už bylo zmíněno, volba vhodného druhu směsi musí vycházet z požadavků na hotový výrobek. V první řadě je třeba posoudit v jakém prostředí a jakým teplotním podmínkám má být vulkanizát vystavený. Dále je potřeba vědět, jakým způsobem bude mechanicky a dynamicky namáhaný a jaká má být jeho životnost. Není vždy rozumné požadovat maximální životnost, zvláště v případě kombinovaných výrobků, kde by byla životnost jiných částí podstatně nižší.

Všeobecně každá kaučuková směs obsahuje tyto základní složky v přibližném obsahu v dsk (stav přísady na sto dílům kaučuku), jak je uvedeno v následující tabulce (Tab. 1.4). [3, 5]

Základní složkou kaučukové směsi je kaučuk, který dodává vulkanizátu charakteristické vlastnosti. Vmíchají-li se do kaučuku jen některé přísady a vynechají se některé ze složek vulkanizačního systému nebo celý vulkanizační systém, připraví se tzv. předsměs. Nejběžnější jsou předsměsi složené z kaučuku, změkčovadla a aktivního plniva. Ostatní složky se do předsměsi

přidávají až při definitivním zpracování kaučukové směsi. Předsměsi je možno velmi dlouho skladovat bez nebezpečí samovolného znehodnocení.

Tab. 1.4 Všeobecné složení kaučukové směsi [2]

Složka směsi	Obsah složky [dsk]
Základní kaučuk (přírodní, syntetický nebo jejich kombinace)	100
Plnivo	0 ÷ 200
Změkčovaadlo	0 ÷ 40
Aktivátor vulkanizace	0 ÷ 40
Stabilizátor	0 ÷ 9
Vulkanizační činidlo	0,3 ÷ 50
Urychlovač vulkanizace	0,3 ÷ 4
Pomocné gumárenské přísady	0 ÷ 10

Základní složkou kaučukové směsi je kaučuk, který dodává vulkanizátu charakteristické vlastnosti. Vmíchají-li se do kaučuku jen některé přísady a vynechají se některé ze složek vulkanizačního systému nebo celý vulkanizační systém, připraví se tzv. předsměs. Nejběžnější jsou předsměsi složené z kaučuku, změkčovadla a aktivního plniva. Ostatní složky se do předsměsi přidávají až při definitivním zpracování kaučukové směsi. Předsměsi je možno velmi dlouho skladovat bez nebezpečí samovolného znehodnocení.

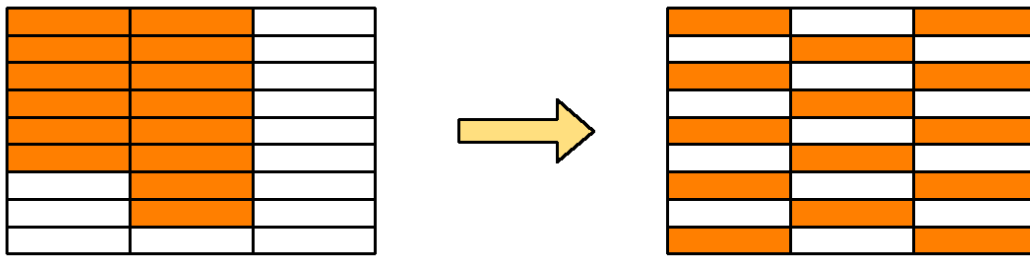
Naproti tomu při dlouhodobém skladování finálových kaučukových směsí by mohlo dojít k jejich navulkanizování. Vulkanizační systém totiž reaguje (i když pomalu) i při běžné teplotě (kolem 20 °C) a proto finální kaučukové směsi mají omezenou dobu skladování. [6, 7]

Příprava a míchání kaučukových směsí je jedním z nejsložitějších procesů gumárenské technologie. Kaučuková směs představuje složitý mnohasložkový a polydisperzní systém kaučuku s přísadami různého chemického složení, které se nachází v různém fyzikálním stavu (nejčastěji v pevném nebo kapalném).

Vzájemná mísitelnost kaučuku a přísad nacházejících se převážně v práškovém stavu bude záviset na jejich velikosti, tvaru a povrchu částic. Jednotlivé přísady se sice přidávají v menších množstvích, ale i tak mají velký vliv na fyzikálně-mechanické vlastnosti vulkanizátu. Proto musí být ve směsi dokonale homogenně rozptýlené – dispergované.

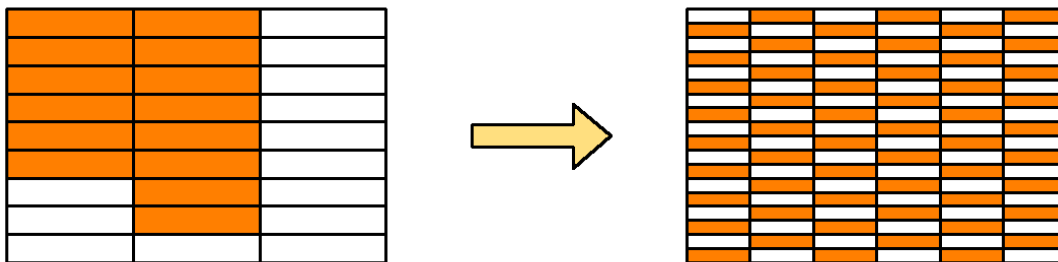
K přípravě směsi s vysokým stupněm homogenity se nejvíce používá distributivní a disperzní typ míchání. Pomocí distributivního míchání je dosaženo homogenity směsi bez výrazné změny velikosti částic, přičemž poměr

jednotlivých komponentů je v každém místě stejný. Hnací silou změny polohy částic je intenzita rotace materiálu v míchací komoře a celkový počet otáček aplikovaných na jednu dávku. [14]



Obr. 1.5 Distributivní míchání

U disperzního míchání na rozdíl od distributivního dochází ke změně tvaru a velikosti částic. Ke změně velikosti většinou dochází díky smykové nebo tlakové síle. Rozhodujícím faktorem pro tento typ míchání je velikost této síly a čas jejího působení, závisí zde tedy na krouticím momentu anebo příkonu hnětiče. [14]



Obr. 1.6 Disperzní míchání

Kaučukové směsi se připravují v hnětacích strojích nebo na dvouválcích při podmínkách přesně stanovených skladbou směsi a pracovními postupy. Před samotnou přípravou kaučukových směsí je zapotřebí zlepšit zpracovatelnost některých kaučuků a to zejména přírodního a některých typů syntetických nebo kaučuků dlouhodobě skladovaných, které mají sklon ke krystalizaci.

Plastikace je první operací s kaučukem. Jejím účelem je upravit zpracovatelnost kaučuku. Intenzivním hnětením kaučuku dochází ke snižování jeho střední molekulové hmotnosti na hodnotu, která umožňuje rychlé vmíchání přísad a výrobu homogenní směsi s požadovanou zpracovatelností. U syntetických kaučuků se také často mluví o odbourávání. Dříve bylo odbourávání kaučuků časté, zejména při zpracování prvních typů butadienstyrenového kaučuku. Většina syntetických kaučuků se však již dodává v přímo zpracovatelném stavu. Tyto kaučuky nepotřebují před zpracováním plastikaci (odbourávání). [6, 7]

Proces plastikace přírodního kaučuku je často nazýván lámáním (též mastikací). Čím více je přírodní kaučuk polámán, tím snadněji se tvaruje, tím rychleji a ochotněji přijímá plniva, ale tím hůře se získávají vlastnosti vulkanizátu. Proto stupeň polámání přírodního kaučuku má být pro daný způsob zpracování co nejmenší.

Kaučukové směsi se připravují dvoustupňovým nebo třístupňovým způsobem míchání. [6, 7]

1.4.1 Dvoustupňová příprava

Při dvoustupňové přípravě je nejdříve namíchán 1. stupeň v hnětacím stroji a vypouštěn při teplotě určené míchacím postupem. Pro každý typ směsi je režim míchání jiný, existuje však určitá posloupnost přidávání přísad, kterou je třeba dodržovat při přípravě jakékoli směsi. Pokud směs obsahuje více druhů kaučuků, předsměs nebo regenerát, zamíchávají se tyto složky nejdřív. Zároveň se mohou přidávat ručně navažované chemikálie. Pro proces míchání je nejvýhodnější, pokud se co nejvíce gumárenských přísad dávkuje v automatickém režimu ze zásobníků. Po dosažení vypouštěcí teploty nebo času se směs vypustí na homogenizační dvouválec, kde se zhomogenizuje. Zhomogenizovaný pás směsi se dále dopravuje dopravníkem do zásobovacího dvouválce a odtud ve formě pásu se po přechodu přes separační roztok ochladí ve vzduchové chladicí jednotce. Některé novější a modernější míchací linky mají pod hnětacím strojem místo homogenizačního dvouválce zabudovaný vytlačovací stroj, kde se první stupeň směsi zhomogenizuje a vytlačuje ve formě pásu. Nakonec se vychlazená směs (pod 40 °C) seká na listy a ukládá na kovové palety a převeze se do řádně označeného skladovacího prostoru. [2]

Při přípravě prvního stupně kaučukových směsí se přidávají do hnětacího stroje tyto suroviny a chemikálie:

- kaučuk, sazové předsměsi, regenerát,
- plniva (aktivní a pasivní),
- aktivátory,
- změkčovadla,
- antidegradanty,
- speciální přísady (přísady zlepšující zpracovatelnost, lepící pryskyřice, adhezivní činidla apod.). [3]

Druhý stupeň směsi se připravuje v hnětacím stroji podle předepsaného navažovacího a míchacího postupu. Každá kaučuková směs má určený svůj míchací cyklus, který je ukončen na základě doporučené vypouštěcí teploty, času nebo spotřeby energie. Při přípravě druhého stupně kaučukové směsi je důležité přesně navažovat předepsaný základ z prvního stupně a také dávkovat do hnětacího stroje všechny vulkanizační přísady. Po dosažení předepsaného

míchacího času se směs vypustí na dvouválec pod hnětacím strojem, kde se zhomogenizuje. Proces chlazení je stejný jako při přípravě prvního stupně.

Při přípravě v druhém stupni kaučukových směsí se přidávají do hnětacího stroje následující chemikálie a směsi:

- první stupeň směsi,
- vulkanizační činidla,
- urychlovače vulkanizace,
- retardéry vulkanizace.

Vulkanizační přísady se obvykle navažují ručně v oddělených místnostech tzv. navažovnách, v nichž se každá vulkanizační přísada dávkuje do samostatného sáčku z nízkotavitelné fólie (EVA kopolymer). [3]

1.4.2 Třístupňová příprava

Při třístupňové přípravě směsi je postup obdobný a je rozložen do 3 stupňů, přičemž posledním stupněm je opět přimíchávání vulkanizačních přísad. Za druhý stupeň se považuje přepracování samotného prvního stupně směsi v hnětacím stroji nebo na dvouválci, resp. se přidávají speciální přísady. Proces přepracování směsi je určen obvykle časem míchání.

Při třístupňové přípravě směsi se podstatně zlepší dispergace přísad, dosáhne se požadované viskozity směsi a zlepší se mechanické a dynamické vlastnosti vulkanizátu.

Tohoto efektu se dosáhne při dodržování technologicky nutných požadavků. Odležení mezi jednotlivými míchacími operacemi musí být obvykle 8 hodin a teplota použité předsměsi prvního stupně nesmí překročit 30 °C. [3]

1.4.3 Plniva

Použití plniv v kaučukových směsích má obecně dva důvody. Prvořadým důvodem je úprava zpracovatelnosti kaučukových směsí a fyzikálních vlastností vulkanizátů. Druhý důvod je ekonomický, použitím levných plniv se dosahuje podstatného snížení ceny výrobku.

Pro běžnou praxi vyhovuje rozdělení do tří skupin:

- saze, (aktivní a neaktivní),
- světlá plniva (aktivní a neaktivní),

Základní vlastnosti kaučukových směsí se upravují plněním, tj. přidávkem většího množství nejčastěji práškových přísad. Tím se mění prakticky všechny vlastnosti: hustota, tvrdost, modul, elasticita, tažnost, strukturní pevnost, dále zpracovatelnost, ale především cena, neboť plniva se používají především ke snížení její ceny. S plněním klesá plasticita a směs se hůře hněte.

Podle fyzikálního významu se plniva dělí na aktivní a pasivní. Aktivní plniva (saze, silika), přechodně zlepšují pevnost. Pasivní plniva (kaolín, křída) pevnost zhoršují.

Plnivo se používá k úpravě vlastností, jenž by samotný kaučuk buď neměl výrazné, nebo by je neměl vůbec. [2]

1.4.4 Zpracovatelské přísady

Přísady se přidávají do kaučukových směsí za účelem zlepšení jejich zpracovatelnosti a dávají vulkanizátu požadované vlastnosti. Přísady lze nazvat také gumárenskými chemikáliemi. V užším slova smyslu se však pod tímto pojmem rozumí látky, které se přidávají do kaučukové směsi v relativně malém množství, přičemž však podstatně ovlivňují vlastnosti kaučukové směsi a v rozhodující míře modifikují jeho užité vlastnosti. Obvykle jsou to produkty organické chemie. [3, 6]

Mezi zpracovatelské přísady patří:

- světlá plniva (vysrážený oxid křemičitý, oxid vápenatý, kaolín),
- saze,
- změkčovadla,
- antidegradanty,
- antiozonanty,
- zvláštní přísady (nadouvadla, pigmenty, faktisy, desodoranty, retardéry hoření antistatické prostředky atd.). [3]

1.4.5 Vulkanizační přísady

Jednu nebo častěji několik složek, přidávaných do kaučuku v poměrně malé koncentraci (několik dsk), které po zahřátí kaučukové směsi způsobí chemickou reakci s kaučukem jeho vulkanizaci, je souhrnně nazýván vulkanizačním systémem. Původně to byla samotná síra, později k ní přibyly další látky, které vulkanizaci urychlily, zpomalily nebo zlepšily její účinnost a vlastnosti vulkanizátu. Staly se tak se sírou složkami vulkanizačního systému.

Při vulkanizaci sírou se dnes běžně přidávají aktivátory a urychlovače, někdy též retardéry vulkanizace, nověji inhibitory navulkanizace. [7]

Mezi vulkanizační přísady patří:

- vulkanizační činidlo (síra, peroxidy, reaktivní pryskyřice, oxidy kovů),
- urychlovače vulkanizace (tiol, bisulfid, sulfonamid, donory síry),
- aktivátory vulkanizace (kysličníku zinečnatého, karbonové kyseliny),
- retardéry vulkanizace,
- inhibitory navulkanizace. [3, 8]

1.4.6 Složení kaučukové směsi určené ke vstřikování

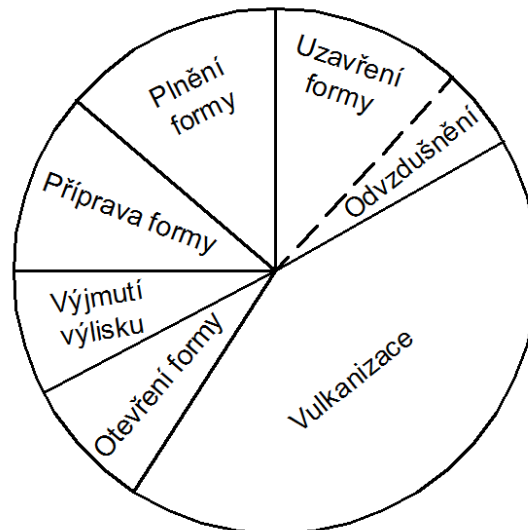
Kaučukové směsi pro vstřikování se liší především průběhem vulkanizace. Požaduje se přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysoká rychlost vulkanizace. Dosahuje se toho vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace ve zvoleném vulkanizačním systému. [16, 38]

Tab. 1.5 Příklad složení kaučukové směsi ke vstřikování [37]

Složka směsi	Obsah složky [dsk]
Přírodní kaučuk	100
Vysrážený oxid křemičitý SiO ₂ (silika)	40
Diethylenglykol (DEG)	2
Oxid titaničitý TiO ₂	5
Oxid zinečnatý ZnO	5
Kyselina stearová	2
Antioxidant (Wingstay L)	1
Ochranné vosky	5
Vulkanizační činidlo - síra	3
Urychlovač MBTS	1
Urychlovač TMTM	0,3

1.5 Lisování

Lisování je cyklický tvářecí proces, při němž se vulkanizace kaučukové směsi provádí teplem a tlakem ve formě. V průběhu vulkanizace dostává vulkanizát současně konečný tvar. Kaučuková směs je v lisovací formě tvářena účinkem tlaku lisu za zvýšené teploty. Schematicky je proces lisování znázorněn na obrázku (Obr. 1.7). [2, 40]



Obr. 1.7 Lisovací cyklus

V průběhu lisování je třeba kaučukovou směs zahřátím převést do plastického stavu. Na ohřevu kaučukové směsi se podílí teplo sdílené vyhřátou formou a teplo uvolněné při probíhající chemických reakcích. Vlastní proces tváření se uskutečňuje tečením. Tečení je způsobeno vnějšími silami, jejichž vlivem je lisovaná kaučuková směs deformována do tvaru dutiny formy. Při lisování kaučukových směsí je třeba brát v úvahu časové omezení tečení s ohledem na postupující síťovací reakci. Průběh tečení je ovlivněn ohřevem, velikostí lisovacího tlaku a rychlostí jeho působení.

Polotovar kaučukové směsi se vkládá do otevřené dutiny formy. Účinkem lisovacího tlaku směs zaplní tvarovou dutinu a převezme její tvar. Vulkanizace probíhá po uzavření formy. Po dosažení předepsané vulkanizační doby je forma otevřena a vulkanizát ručně nebo strojně vyjmut z formy. [2, 8, 44]

Výhody:

- vulkanizační formy jsou ve většině případů jednodušší a tedy i levnější než v případě vstřikování,
- odpadají problémy s vtokovou soustavou.
- snadná manipulace s vulkanizační formou než u vstřikování. [48]

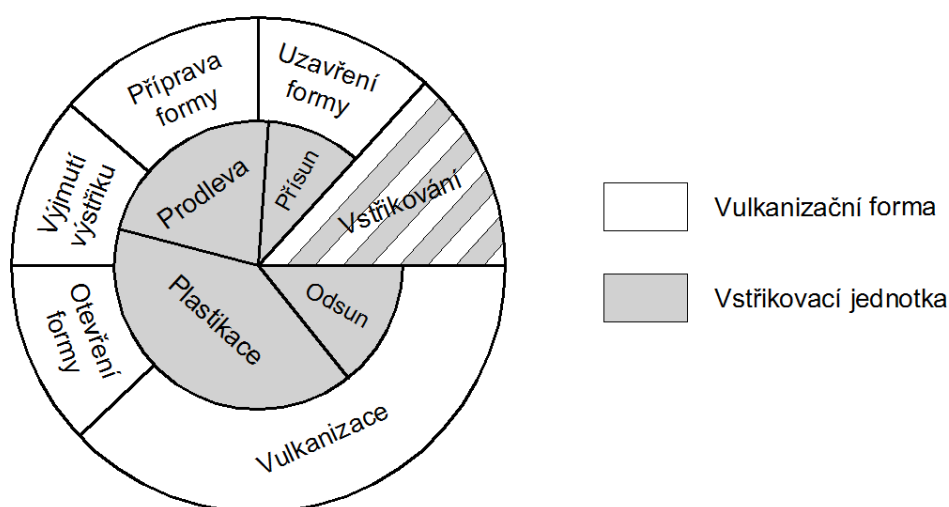
Nevýhody:

- zůstávají poměrně velké přetoky v dělicí rovině,
- vznikají vady způsobené uzavřením vzduchu v materiálu,
- složitější příprava polotovarů,
- možnost vzniku vady výrobku spojené se založením polotovaru. [2]

1.6 Vstřikování

Vstřikování jako nejproduktivnější technologie výroby tvarových pryžových výrobků, která se neustále zdokonaluje. Cílem je dosažení optimální a reprodukovatelné kvality výstřiků (výstřik – výrobek zhotovený vstřikováním) při ekonomicky nejvýhodnějších cyklech. Vstřikováním lze dnes zpracovávat většinu běžných kaučukových směsí a umožňuje výrobu miniaturních i rozměrných, tenkostěnných i masivních výrobků. Vstřikováním kaučukových směsí do uzavřených forem vzniká možnost výrobu vysoce mechanizovat, případně plně automatizovat. Úroveň technologie je dána především úrovní vstřikovacího stroje, formy a hloubkou znalostí technologického procesu. Na rozdíl od běžného lisování či přetlačování, vstřikování probíhá do uzavřené formy, což minimalizuje velikost přetoků. Další rozdíl je v tom, že směs se před vlastním vstřikováním ohřívá, což vede k podstatnému zkrácení doby vulkanizace. Pro možnost předčasného navulkanizování nesmí teplota vstřikované směsi přestoupit 100 °C. Teplota formy, a tím i teplota vulkanizace bývá v rozmezí 150 až 200 °C. Tyto podmínky vyžadují, aby nedocházelo ani ke ztrátám tepla, ani ke kolísání teploty.

Vstřikovací cyklus se obvykle popisuje ději probíhajícími ve vstřikovací jednotce a vulkanizační formě. Vstřikováním do více forem, které rotují okolo vstřikovací jednotky lze dosáhnout vysoké produktivity výroby. Vstřikovací cyklus nejlépe popisuje následující obrázek (Obr. 1.8). [6, 8, 16, 46, 47]



Obr. 1.8 Vstřikovací cyklus

Při vstřikování kaučukových směsí se často používají pístové vstřikovací jednotky ze šnekovou předplastikací. Zpracováváný materiál se plní buď ve formě pásu, nebo granulátu. Vzhledem k vlastnostem kaučukových směsí probíhá plastikace pomocí šneku ve válci za výrazného přispění disipované energie. Zplastikovaný materiál se dopravuje do válce pod píst, kterým se pak vstříkuje do dutiny formy. Při plnění formy materiál teče i v povrchové vrstvě, protože teplota formy je vyšší, než teplota vstřikovaného materiálu. Vyžaduje to volbu dostatečných průřezů vtokových kanálů i dutiny formy. Forma musí být dokonale odvzdušněna. Vyhazovací systém se musí volit s ohledem na vysokou pružnost a malou pevnost hotových výstřiků. Vstřikování kaučukových směsí umožňuje výrobu rozmanitých výrobků při krátké době zpracování a vysoké kvalitě. Vyžaduje však náročnější výrobní zařízení a je méně vhodné pro kusovou výrobu na rozdíl od technologie lisování. [2, 11, 27, 51]

Výhody:

- poměrně velká produktivita (materiál se v plastikační jednotce připravuje již ve fázi, kdy výrobek vulkanizuje ve formě),
- jednodušší příprava a dávkování materiálu než u lisování,
- snadná automatizace procesu,
- menší materiálové ztráty než při lisování (bez přetoků),
- zkrácení doby vulkanizace vlivem předehřevu materiálu v plastikační jednotce,
- dosažení lepší uniformity výrobků díky automaticky řízeným cyklům,
- možnost výroby součástí, které nelze vyrobit běžným lisováním nebo přetlačováním, například tzv. zástříků.

Nevýhody:

- složitější a dražší zařízení – vstřikovací stroj,
- složitější a náročnější výroba formy,
- možné vnitřní pnutí ve výrobku. [28, 41, 42, 43]

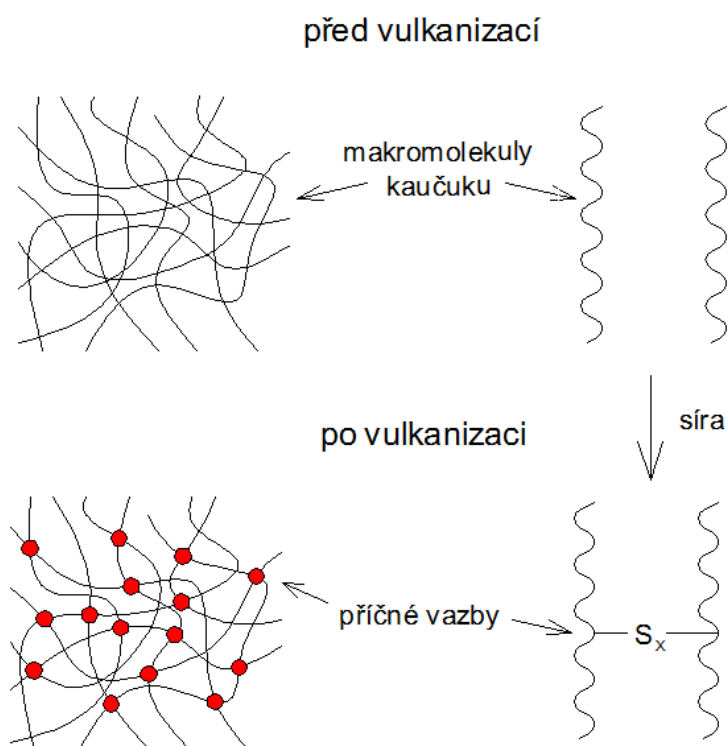
1.7 Vulkanizace

Vulkanizace je považována za jednu z nejdůležitějších reakcí kaučuku s ostatními složkami vulkanizačního systému, a proto začátek gumárenské výroby úzce souvisí s jejím objevením. Podařilo se to americkému vědci Charlesovi Goodyearovi, který zjistil, že zahříváním kaučuku obsahujícího síru dochází k podstatným, a přitom k velmi žádaným změnám z hlediska jeho mechanických vlastností. Do této doby totiž kaučuk nenabyl významnější aplikační využití, i když se na některé výrobky používal. Ty však byly znehodnocovány účinky slunečního světla a tepla. Téměř současně s Goodyearem objevil v Anglii v roce 1843 teplou vulkanizaci i Thomas Hancock.

Vulkanizace je definována jako fyzikálně-chemický proces, při kterém působením složek vulkanizačního systému, teploty a tlaku dochází k tvorbě chemických příčných vazeb mezi kaučukovými řetězci. Koncentrace složek vulkanizačního systému přitom postupně klesá až téměř na nulovou hodnotu. V průběhu vulkanizace se mění lineární struktura kaučukových řetězců na prostorovou strukturu vulkanizátu, přičemž se významně mění jeho fyzikálně-mechanické vlastnosti a kaučuk přechází ze stavu plastického do stavu převážně elastického. Dále kaučuk ztrácí svoji lepivost, stává se nerozpustným v rozpouštědlech (pouze botná) a je odolnější proti degradačním účinkům tepla, světla a procesům stárnutí.

Síťováním kaučuku sírovými vulkanizačními systémy vznikají tři základní typy příčných vazeb, a to mono-, di- a polysulfidické. Kromě toho jsou hlavní řetězce modifikovány mono- a disulfidickými skupinami, dále konjugovanými dienovými a trienovými skupinami a zavěšenými sírovými řetězci, zakončenými zbytky urychlovače. Celková koncentrace příčných vazeb je důležitá pro většinu fyzikálních vlastností. Důležité jsou i vzájemné poměry různých typů příčných vazeb. Modifikace hlavního řetězce mají vliv zejména na oxidovatelnost vulkanizátu a jeho schopnost krystalizovat při nízkých teplotách. Zvýšením koncentrace urychlovače při současném snížení koncentrace síry klesá ve vulkanizátu obsah polysulfidických vazeb a vzrůstá tak obsah mono- a disulfidických vazeb. Vzhledem k tomu, že energie jednotlivých druhů vazeb jsou různé, jsou vulkanizáty s nižším poměrných zastoupením polysulfidických vazeb obecně stálejší jak proti vlivům zvýšených teplot, tak proti vlivům korozního prostředí. [6]

Reálnou prostorovou síť kromě chemických příčných vazeb tvoří fyzikální uzly, které taktéž přispívají k přenášení napětí. V prostorové síti vulkanizátu se dále objevují další příměsi, které jsou však nevázané. Jsou to jednak nezreagované složky vulkanizačního systému, dále nízkomolekulární reakční produkty vulkanizace a přísady, jako jsou změkčovadla, plniva apod. [4, 10, 37]



Obr. 1.9 Vznik prostorové makromolekulární struktury

Vulkanizace je energeticky a časově nejnáročnější proces gumárenské výroby a průběh vulkanizace proto značně ovlivňuje její produktivitu.

Průběh vulkanizace závisí na řadě proměnných. Vliv má především druh urychlovače a aktivátoru, koncentrace urychlovače, aktivátoru a síry, dále teplota vulkanizace, druh plniva a typ použitého kaučuku. Rychlost vulkanizace také ovlivňují nekaučukové látky, které obsahuje přírodní kaučuk. Obecně platí, že látky kyselého charakteru (organické kyseliny, retardéry, kanálové saze) mají tendenci zpomalovat průběh vulkanizace, zatímco alkalické prostředí (aminy, retortové saze) vulkanizaci urychluje. Při urychlené vulkanizaci se snižuje obsah polysulfidických vazeb.

1.7.1 Prostředí vulkanizace

Prostředí, ve kterém vulkanizace probíhá, ovlivňuje samotný proces a do určité míry může ovlivnit i vlastnosti vulkanizátu, hlavně však jeho povrch. Kaučuková směs je v zásadě špatným vodičem tepla, a proto je získání kvalitního vulkanizátu závislé na stejnoměrném prohřátí celé kaučukové hmoty.

Přestup tepla z kovu na směs je neúčinnější. Proto vulkanizace v uzavřených kovových formách je nejkratší. K volné vulkanizaci se často používá přímá nasycená pára (o tlaku 0,2 až 0,5 MPa), která zabezpečuje vysoký koeficient přestupu tepla, nemá nepříznivý vliv na kaučuk a teplota se snadno reguluje změnou tlaku. Přehřátá vodní pára se používá méně často, hlavně tehdy, je-li třeba odstranit nepříznivý vliv kondenzátu na povrchový vzhled výrobků. [10]

1.7.2 Doba vulkanizace

Doba vulkanizace bývá od desítek sekund do několika hodin. Kromě složení směsi má na dobu vulkanizace vliv teplota vulkanizace, rozměry výrobku, způsob ohřevu a povaha vulkanizačního prostředí. Z hlediska efektivity a požadovaných vlastností výrobku je důležitá technická (optimální) doba vulkanizace. Více v kapitole 1.8.4.

1.7.3 Teplota vulkanizace

Většina kaučukových směsí se vulkanizuje při teplotách 130 – 160 °C. Jsou však případy, kdy vulkanizace probíhá při mnohem nižších teplotách (s použitím ultraurychlovačů i pod 100 °C) nebo naopak při vyšších teplotách, zvláště u výrobků nevelkých rozměrů z kaučuků odolávajících reverzi. Při vulkanizaci pryžových výrobků menších rozměrů ze syntetických kaučuků lze použít teplot vulkanizace kolem 200 °C, přičemž se proces podstatně urychlí, přitom se uspoří urychlovače vulkanizace a vlastnosti pryže zůstanou v podstatě neovlivněny. Vysokých teplot vulkanizace se s výhodou využívá zvláště u plynulé vulkanizace vytlačovaných profilů a u technologie vstřikování. [21]

1.7.4 Tlak při vulkanizaci

Mnoho gumárenských výrobků dostává konečný tvar již při technologickém zpracování před vulkanizací nebo je tvarování a vulkanizace spojeno v jednu operaci. V případě lisování se vulkanizuje ve formách, k jejichž uzavření je nutný tlak, a to větší, než je protitlak směsi vyplňující dutinu formy zahřátou na vysokou teplotu. V případě vstřikování je tlak nejen potřebný k vyplnění dutiny, ale nejprve k dopravě směsi vtokovým systémem. Použití tlaků je nezbytné také z toho důvodu, aby výrobek byl monolitní. To je zvláště důležité u vrstvených výrobků, připravovaných konfekcí. Je-li tlak nízký, uvolňují se zahříváním těkavé podíly a plyny, takže vznikají porézní výrobky. Tlak je proto nutno zabezpečit jak v indukční periodě vulkanizace, kdy se výrobek tvaruje, tak v průběhu vulkanizace, až do okamžiku, kdy je dosaženo takové síťové hustoty pryže, při které je již pevnost pryže a pevnost spojení jednotlivých částí dostatečná. Tím se zabrání porušení pryže účinkem vnitřního tlaku plynů, které se uvolňují po odstranění vnějšího tlaku. [10, 21]

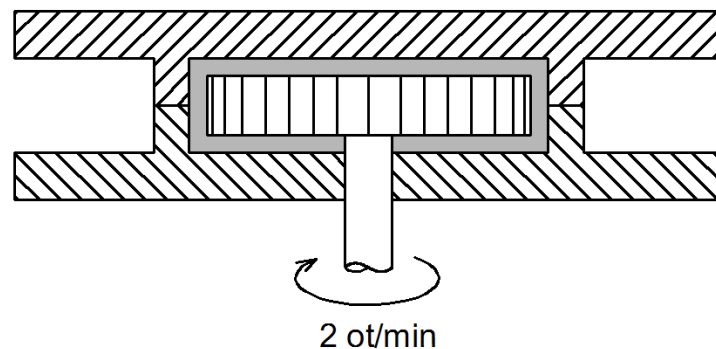
1.8 Měření zpracovatelských vlastností

Každá kaučuková směs má svoji originální recepturu a je složena z jednotlivých komponentů, jejichž množství ovlivňuje více či méně vlastnosti směsi jak při zpracování, tak i výsledné mechanické vlastnosti konečného výrobku. Z materiálových charakteristik je potřeba zjistit jak reologické vlastnosti směsi, jejich chování při změně teploty, závislost viskozity na intenzitě namáhání, tak i vlastnosti vulkanizační, určující rychlost vzniku příčných vazeb.

Kaučuková směs se řadí mezi pseudoplastické látky, u kterých viskozita s narůstající rychlostí smykové deformace klesá. Před samotným zpracováním je potřeba znát její tokovou křivku a rychlost vulkanizace při různých teplotách. [11]

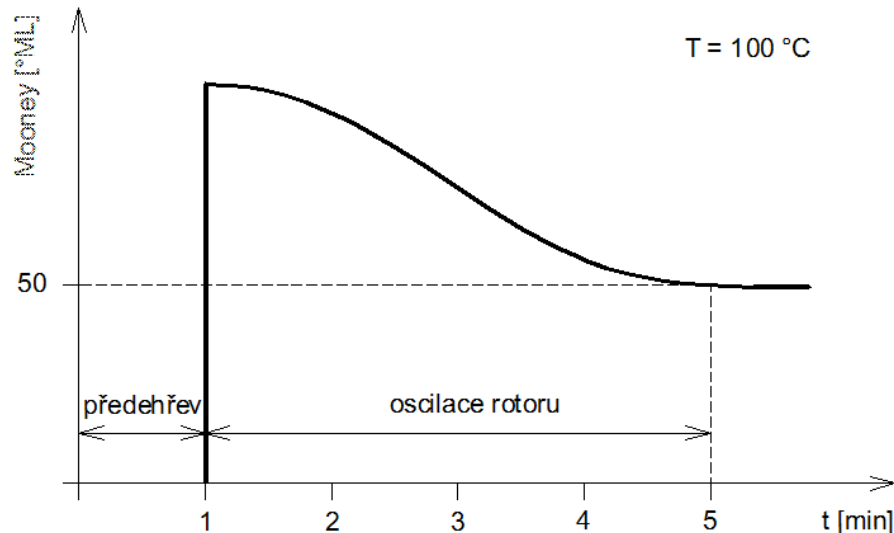
1.8.1 Měření viskozity Mooney

Zkouška spočívá ve stanovení krouticího momentu v jednotkách Mooney při otáčení rotoru v komoře zaplněné zkušebním materiálem. Zkušební vzorek je tvořen ze dvou kaučukových disků o průměru 50 mm a tloušťce 6 mm, což je dostačující k tomu, aby byla komora přístroje (viskozimetru Mooney) vyplněná. Jeden kaučukový disk má ve středu vyseknutý kruhový otvor, který umožňuje vložení hřídele rotoru. [11]



Obr. 1.10 Vizkozimetr Mooney

Viskozita Mooney je hodnota na křivce při 100°C odečtená po 4 minutách od spuštění pohybu rotoru. Celá zkouška standardně trvá 5 minut. Před zpuštěním rotoru je kaučuková směs po dobu 1 minuty předehřívána, přičemž se vyrovná teplotní pole. Poté je možné porovnávat jednotlivé viskozity Mooney z viskozimetrů různých konstrukcí. Viskozita Mooney bývá nejčastěji vyjádřena zápisem 50 ML (1 + 4) 100 °C. Kde 50 M reprezentuje viskozitu Mooney, L značí typ použitého rotoru, 1 je doba předehřevu v minutách, 4 je doba činnosti rotoru v minutách a 100 °C je teplota komory při zkoušce. [11]



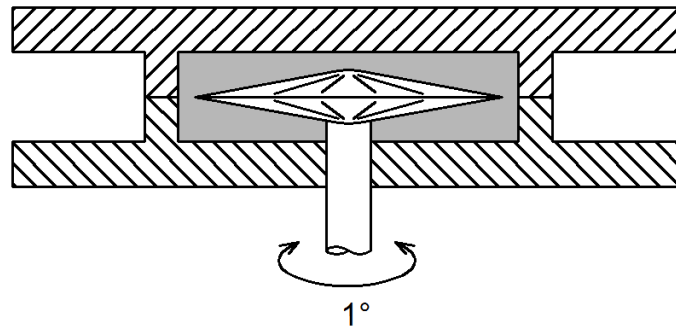
Obr. 1.11 Křivka vizkozity Mooney

1.8.2 Měření vulkanizačních charakteristik

Laboratorní měření vulkanizačních charakteristik kaučukové směsi bylo podpořené zavedením vulkametru v polovině 20. století. Tyto přístroje jsou natolik spolehlivé, že použití viskozimetru Mooney k měření navulkanizace a potřeba rutinního sledování vlastností z vulkanizovaných vzorků do různého stupně se výrazně snížila. [11, 36]

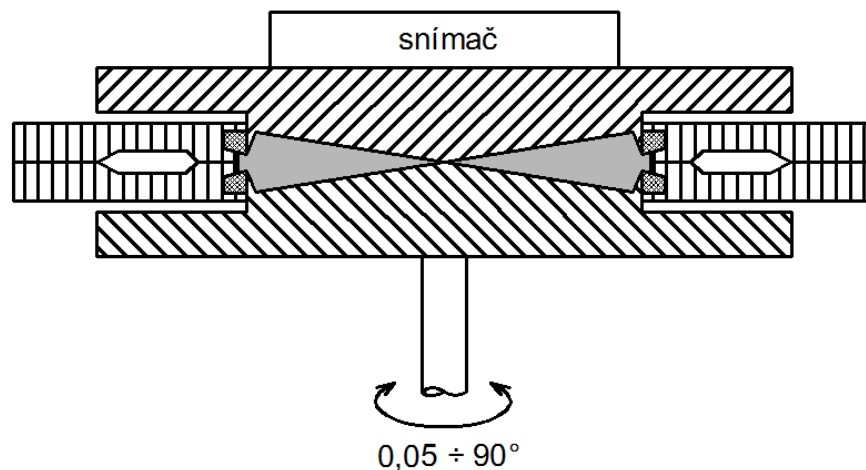
Vulkametry (reometry) zaznamenávají dynamický smykový modul (odpor kroučícího momentu v závislosti na čase) cyklicky namáhaného zkušebního tělesa během vulkanizace. Dokáží zaznačit celý průběh vulkanizace a využívají se při vývoji nových směsí anebo přímo ve výrobě na hodnocení zpracovatelských vlastností. Existují vulkanometry s oscilujícím diskem a vulkanometry bezrotorové.

- *Vulkanometr s oscilujícím diskem (Oscillating Disk Rheometer – ODR)* je pravděpodobně nejčastěji užívaný přístroj v gumárenské technologii. Rotor (disk) osciluje konstantním úhlem pootáčení 1° nebo 3°. Vyvolaný kroučící moment vlivem změny smykového modulu je zaznamenán do grafu. Oscilační pohyb rotoru vykonává excentr usazený na hřídeli a osciluje s frekvencí 1,67 Hz. Oscilace rotoru (místo rotace, jak je tomu u viskozimetru Mooney) umožňuje naměřit celou vulkanizační křivku popsanou v kapitole 1.8.4. [15, 36]



Obr. 1.12 Vulkanometr ODR

- *Bezrotorový vulkanometr (Moving Die Rheometer – MDR)* nemá rotor, ale pohyblivé obě části komory uzavírající kaučukovou směs ve vyhřívané dutině. Nepřítomnost rotoru a zmenšení tloušťky vzorku testované směsi díky typu konstrukci výrazně zkracuje dobu potřebnou k ohřevu směsi na vulkanizační teplotu. Spodní část komory osciluje a vulkanizující směs přenáší krouticí moment na horní část komory. Frekvence je obvykle 1,7 Hz a amplituda 1° . Konstrukce typu kužel – kužel je zvolena z důvodu dodržení konstantního smykového namáhání vzorku. [12, 15, 16, 36]



Obr. 1.13 Vulkanometr MDR

1.8.3 Rubber Process Analyzer (RPA)

Rubber Process Analyzer (RPA) je nejnovější typ vulkanometru MDR. Je zde využíván speciální motor s přímým pohonem, který může být naprogramovaný tak, aby došlo ke změně frekvence anebo amplitudu oscilace spodní části komory. Protože s rostoucí frekvencí a amplitudou oscilací roste smyková rychlost v kaučukové směsi, je na tomto přístroji možnou zkoušet vlastnosti v širokém rozsahu smykových rychlostí. Přístroj tak měří nejen průběh vulkanizace, ale charakterizuje i viskoelastické chování kaučukových směsí a jejich vulkanizátů. [36, 49]



Obr. 1.14 Rubber Process Analyser (RPA 2000)

Připravený vzorek kaučukové směsi, případně směsi, o hmotnosti okolo 5 g je umístěn do měřicího zařízení, které je uzavřené silou 15 kN. Teplota obou částí komor probíhá s přesností 0,3 °C. Pomocí proudícího vzduchu je možné komoru chladit, kdy je teplotní spád přibližně 30 °C/min. Krouticí moment je přenášený přes vzorek kaučukové směsi ze spodní oscilující části do horní, ve které je umístěný senzor. Změna krouticího momentu je zaznamenávána pomocí softwaru jsou vyhodnocované měřené veličiny. [12]

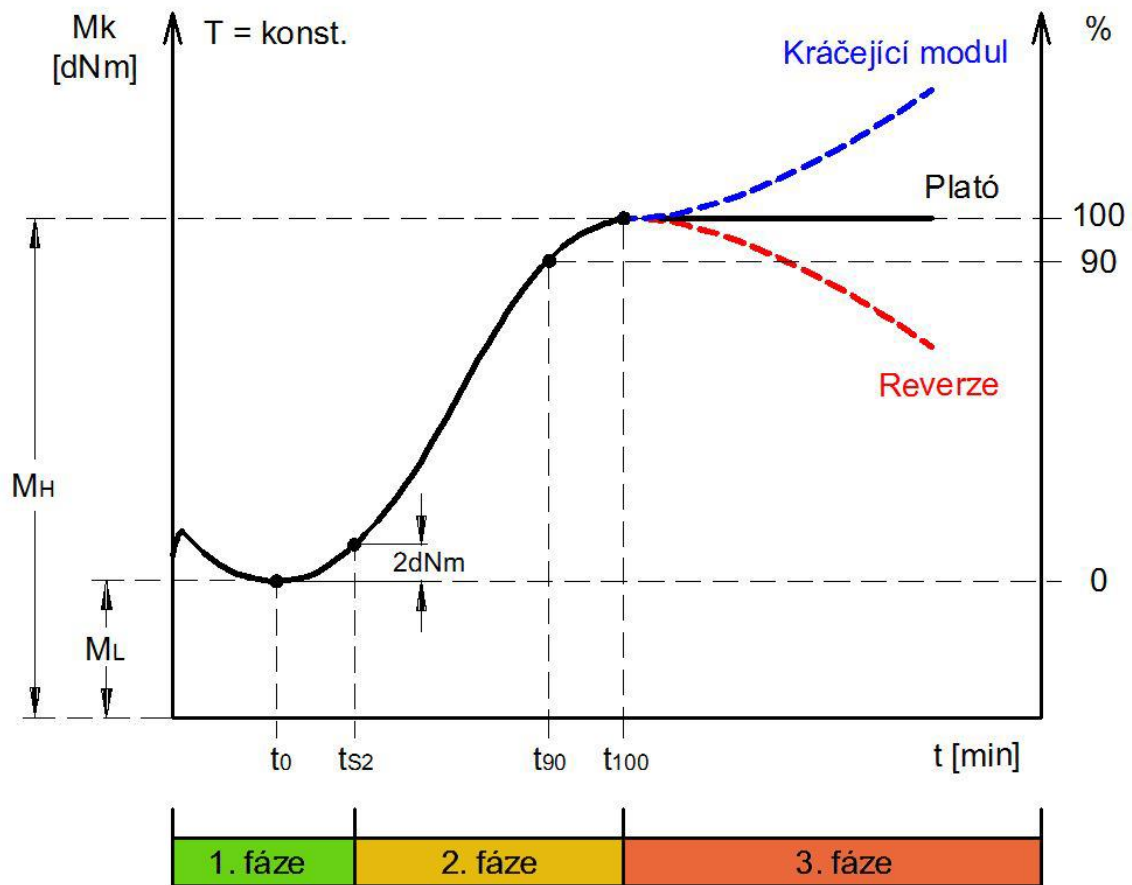
Na základě možnosti měnit celou řadu parametrů je možné měřit různé vlastnosti. Všechny veličiny je možné mezi sebou kombinovat a získat tím unikátní výsledky, na základě kterých je možné odhalit příčiny vzniku problémů v procesu výroby. Mezi parametry, které je možné měnit, patří [12]:

- teplota 30 ÷ 230 °C,
- frekvence oscilace 0,03 ÷ 33 Hz,
- úhel oscilace 0,05 ÷ 90°,
- čas 0 ÷ 9999 min.

1.8.4 Vulkanizační křivka

Jak bylo popsáno v kapitole 1.7.2, po přidání všech složek vulkanizačního systému do kaučukové směsi při dostatečné teplotě nastává jeho působení. Nejdříve se vytváří aktivní meziprodukt, později vznikají příčné vazby. Jakmile tvorba příčných vazeb dosáhne určitého stupně, mění se zpracovatelské vlastnosti, indikované změnou plasticity. Doba potřebná k dosažení této změny se nazývá bezpečnost směsi.

Změna indikovaná zvýšením viskozity se prakticky shoduje se začátkem vulkanizace. Pokračováním v zahřívání se vyvíjí příčné vazby a nastává vulkanizace, jejíž průběh je zaznamenán vulkanizační křivkou. [2, 45]



Obr. 1.15 Vulkanizační křivka

Po uzavření dutiny vulkanometru se na vulkanizační křivce objeví malé maximum, které je způsobeno poněkud nižší teplotou (a tedy vyšší viskozitou) kaučukové směsi na počátku měření.

Po ohřevu navulkanizované kaučukové směsi se kroučící moment ustálí na hodnotě M_L v čase t_0 . Hodnota M_L charakterizuje maximální tuhost kaučukové směsi před vulkanizací.

Počátek síťování se projeví růstem kroučícího momentu. Zpracovatelská bezpečnost (bezpečnost kaučukové směsi) se udává v minutách od uzavření dutiny po čas, při kterém dojde k nárůstu kroučícího momentu o 1 dN.m (pro amplitudu 1° , označení t_{s1}), nebo o 2 dN.m (pro amplitudu 3° , označení t_{s2}) nad hodnotou M_L .

Maximální kroučící moment je označován M_H . Odpovídá konci vulkanizace a charakterizuje maximální tuhost vulkanizátu. Doba potřebná k dosažení určitého stupně vulkanizace je čas potřebný k dosažení dané procentuální části rozdílu ($M_H - M_L$).

Čas potřebný k dosažení 90% rozdílu ($M_H - M_L$) se označuje t_{90} a nazývá se optimální doba vulkanizace.

Vulkanizační křivku je možné rozdělit do tří fází:

1. fáze (*indukční perioda*) – probíhá reakce vulkanizačního činidla s kaučukem. Tato doba závisí na typu vulkanizačního systému a podmínkách reakce.

2. fáze (*síťovací reakce*) – určuje dobu síťování daného kaučuku a současně změnu fyzikálně mechanických vlastností. Během síťovací reakce dochází k úbytku vulkanizačního činidla a nastává pokles rychlosti reakce.

3. fáze (*následné reakce*) – pokud si vulkanizát po překročení maxima zesíťení zachová stejnou hodnotu krouticího momentu M_H , vzniká vulkanizační plató. V případě, že hodnota M_H klesá, vzniká tzv. *reverze* – rozpad sírných vazeb, častý jev u přírodního kaučuku. Pokud hodnota M_H roste, vzniká tzv. *krácející modul*, ten se vyskytuje zejména u směsí s chloroprenovým kaučukem.

Celková doba vulkanizace je součtem indukční periody a doby potřebné pro síťovací reakce (Obr. 1.15).

Odolnost proti reverzi je odolnost proti zhoršování vlastností vulkanizátů při prodloužené době vulkanizace. Tato vlastnost je důležitá při vulkanizaci tlustostěnných výrobků, kdy vnější vrstva může být zahřívána déle než vrstva vnitřní. Krácející modul komplikuje stanovení doby vulkanizace, protože hodnota M_H není přesně identifikovatelná. Optimální doba vulkanizace se v tomto případě musí odhadnout. Nejčastěji se volí doba, při které dojde k významnému zpomalení nárůstu krouticího momentu.

Pro každou kaučukovou směs jsou obvykle ve výrobě zadány požadované hodnoty a jejich povolené odchylky. Výklad odchylek je následující:

- příliš vysoká hodnota M_L indikuje velké množství plniva a/nebo málo oleje,
- příliš nízká hodnota M_L indikuje málo plniva a/nebo mnoho oleje, příp. příliš odbouraný přírodní kaučuk.
- příliš nízká hodnota t_{s1} , resp. t_{s2} může být způsobena příliš vysokou teplotou míchání směsi s vulkanizačními činidly nebo nedostatečným ochlazením směsi po míchání,
- hodnota M_H dává informaci o stupni síťování a o vulkanizačním systému – pro sírnou vulkanizace může být anomální hodnota M_H způsobena hlavně nesprávným dávkováním síry nebo urychlovačů,
- příčiny odchylek hodnoty t_{90} jsou podobné jako u M_H , protože obě hodnoty závisí na stupni síťování. [9, 15, 36, 39]

1.9 Měření mechanických vlastností

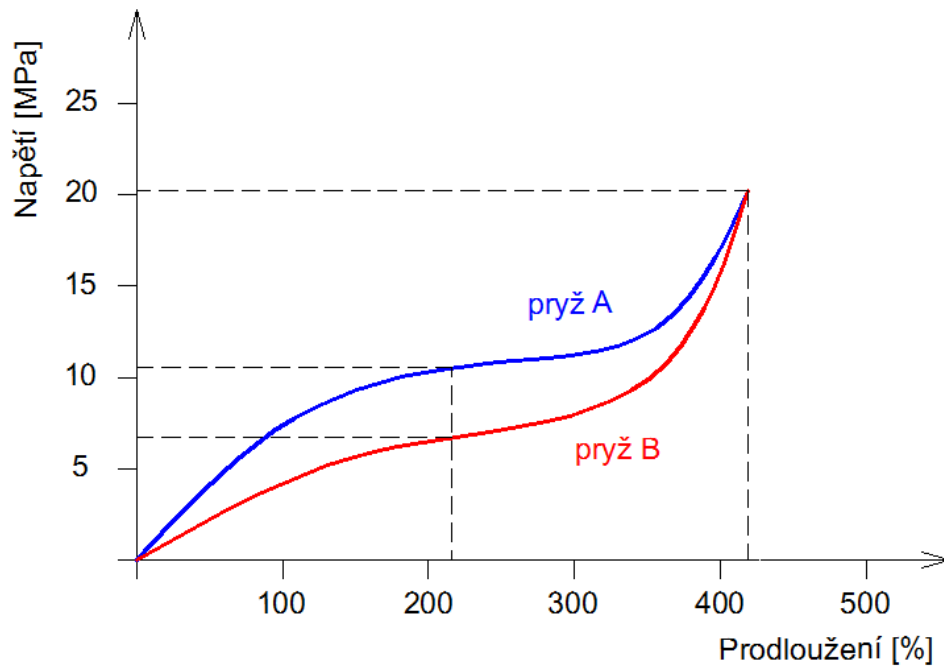
Vlastnosti, které charakterizují materiál, je možné rozdělit z hlediska jejich využití pro konstrukční prvky do dvou základních skupin. První skupinou jsou vlastnosti fyzikální neboli mechanické a druhou skupinu tvoří vlastnosti chemické. Tyto vlastnosti se mohou dále měnit na základě působení zejména způsobu jejich výroby, teploty, času atd.

Mechanické vlastnosti konstrukčních materiálů v praxi charakterizují zejména vlastnosti jako je pružnost, pevnost, tvrdost a houževnatost. Mechanické vlastnosti materiálu, které jsou konstruktéry vyhodnocovány, je však mnohem více. Pro potřeby konstruktéra se např. pružnost dále popisuje modulem pružnosti v tahu či tlaku E , modulem pružnosti ve smyku G , objemovým modulem pružnosti K a podílem příčné a podélné kontrakce μ (Poissonovo číslo). Mechanické vlastnosti materiálu se experimentálně stanovují v průběhu jejich vývoje, výroby, použití, prodeje atd. Aby mohla být zkouška opakována, provádí se podle normalizovaného postupu na pracovištích vybaveným normou stanoveným zařízením. [2, 10]

1.9.1 Tahová zkouška

Tahové zkoušky dávají celkový hrubý obraz o vlastnostech pryžového materiálu. Mimo to se pomocí nich kontroluje pravidelnost technologických postupů, jako je například vulkanizace. Pro každou pryž je charakteristická závislost zatížení na prodloužení. Pomocí této charakteristiky (tahového diagramu) zjistit nejenom konečné zatížení – pevnost v tahu, a konečné prodloužení – tažnost, ale také zatížení potřebné k určitému prodloužení – modul. Ten velmi často slouží jako měřítko při hodnocení pryže. Vyhodnocují se moduly u různých protažení (100 %, 200 %, 300 % apod.). [18, 19]

Pevnost v tahu je definována jako napětí při přetržení, vztažené na plošnou jednotku nedeformovaného průřezu. Udává se nejčastěji v MPa. V praxi se pevnost v tahu stanovuje na trhacích strojích při konstantní rychlosti protahování, která se pohybuje nejčastěji ve stovkách procent za minutu, což odpovídá frekvenci dynamického namáhání $f = 0,1 \text{ s}^{-1}$. [10]



Obr. 1.16 Tahový diagram dvou typů pryží

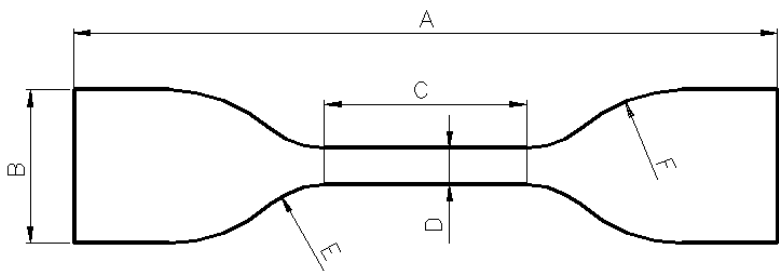
Pokusně stanovené hodnoty pevnosti v tahu jsou obecně mnohonásobně menší než hodnoty teoreticky vypočítané z velikosti makromolekulárních sil (pevnosti chemických vazeb a počtu řetězců procházejících daným průřezem). To je způsobeno tím, že nosné elementy struktury pryže (řetězky sítě) nepraskají při jednosměrném protahování v daném průřezu najednou v jenom okamžiku, ale postupně. Každý vulkanizát obsahuje vždy různé vady. Patří k nim nehomogenity molekulárních rozměrů, jako je nerovnoměrné rozložení příčných vazeb v síti, které způsobuje, že některé řetězky sítě jsou kratší a jiné delší, dále drobné mikrotrhlínky (řádově větší než molekulární rozměry), vzniklé např. uzavřením vzduchových bublinek, a konečně různé tuhé částičky (grit). Při protahování dochází v oblastech místních defektů ke koncentraci napětí; kratší řetězky sítě dosáhnou svého maximálního protažení a praskají dříve než řetězky delší. Místní napětí v hrotech existujících a vznikajících trhlinek je větší než makroskopické (nominální) napětí a to stačí k tomu, aby vysoce protažené svazky makromolekul v hrotu trhliny praskaly. Tím trhlina roste, až nakonec zkušební těleso praskne jako celek. Pro dosažení velké pevnosti v tahu je proto nutné, aby vznikající velká místní pnutí rychle relaxovala, neboť tím se značná část koncentrované deformační energie rozptyluje (disipuje) ve větších oblastech. Obecně je tedy pro dosažení velkých pevností v tahu žádoucí, aby vulkanizát měl při větších protaženích schopnost rychle relaxovat, aby měl vysokou hysterezi. [10]

Tažnost je definována jako protažení při přetržení a udává se zpravidla v procentech. Stanoví se na trhacím stroji při konstantní rychlosti protahování, která se pohybuje nejčastěji ve stovkách procent za minutu. Tažnost nekrytalizujících neplněných vulkanizátů je za normální teploty a při obvyklé

rychlosti protahování podstatně menší (okolo 300 %), než by odpovídalo možnostem struktury sítě (délce řetězců). To je způsobeno tím, že během protahování se místně přetěžují některé řetězce, vznikne trhlina, která se rychle šíří, a zkušební těleso praskne předčasně. U vulkanizátů s větší hysterezi (vysokým vnitřním viskózním odporem) se značná část deformační energie rozptýluje (disipuje) a místní přepětí jsou menší, protože se rozvádějí do větších oblastí. Větší hystereze tedy zvětšuje tažnost vulkanizátu, a ke zvýšení hystereze zase přispívají tyto faktory: orientační krystalizace, přítomnost plniv, vyšší teplota skelného přechodu a větší rychlost protahování. Negativním faktorem přispívajícím k poklesu tažnosti je nerovnoměrné rozptýlení vulkanizačních přísad a taktéž nedokonalá disperze ztužujících plniv při přípravě kaučukové směsi. [10]

Pro tahovou zkoušku jsou normou ISO 37 jasně definovány tvary a rozměry zkušebních těles (Tab. 1.6) Jeden z nejpoužívanějších typů zkušebních těles je tvar oboustranné lopatky (dumbbell). Při použití tohoto typu tělesa u tuhých pryží s nízkou tažností je deformována převážně jen zúžená část tělesa. Naopak, u pryží s vysokou tažností se také deformují rozšířené části tělesa a vznikají nepřesnosti v závislosti napětí na deformaci. Jednotlivé rozměry těles typu dumbbell jsou uvedeny v následující tabulce. [19, 22]

Tab. 1.6 Rozměry zkušebních těles typu dumbbell



Rozměry [mm]	Typ 1	Typ 1A	Typ 2	Typ 3	Typ 4
A Celková délka	115	100	75	50	35
B Šířka lopatek	25 ± 1	25 ± 0,5	12,5 ± 1	8,5 ± 1	6 ± 0,5
C Délka zúžené části	33 ± 2	21 ± 1	25 ± 1	16 ± 1	12 ± 0,5
D Šířka zúžené části	6,2 ± 0,2	5 ± 0,1	4 ± 0,1	4 ± 0,1	2 ± 0,1
E Přejíhový poloměr	14 ± 1	11 ± 1	8 ± 0,5	7,5 ± 0,5	3 ± 0,1
F Přejíhový poloměr	25 ± 2	25 ± 2	12,5 ± 1	10 ± 0,5	3 ± 0,1
Tloušťka pracovní části	2 ± 0,2	2 ± 0,2	2 ± 0,2	2 ± 0,2	1 ± 0,1
Délka pracovní části	25 ± 0,5	20 ± 0,5	20 ± 0,5	10 ± 0,5	10 ± 0,5

Tělesa tvaru dumbbell jsou protahována na tahovém zkušebním stroji konstantní rychlostí 500 mm/min v upínacích čelistech. Odečítají se hodnoty

síly a prodloužení protahovaných zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení. Výsledky získané na zkušebních tělesech nemusí poskytovat stejné hodnoty příslušných vlastností. Ovlivňujícím faktorem je orientace (kalandrovací efekt), který může ovlivňovat naměřené hodnoty v závislosti na tom, zda je osa lopatek souběžná se směrem orientace nebo zda je na něj kolmá. Při této zkoušce jsou měřeny, popř. automaticky vyhodnocovány veličiny jako jsou pevnost v tahu, tažnost a modul při prodloužení. [19, 22]

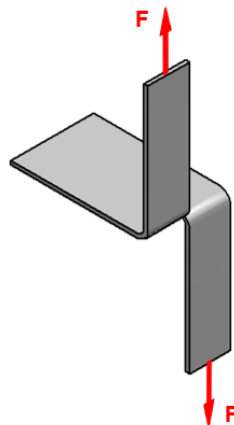
1.9.2 Zkouška strukturní pevnosti

Odolnost proti dalšímu trhání – strukturní pevnost je charakterizována silou (vztaženou na jednotkovou tloušťku zkušební tělesa), které je při konstantní rychlosti protahování třeba na zvětšování zářezu záměrně provedeného na zkušebním tělese o známé tloušťce. Strukturní pevnost se tedy vypočítá ze vztahu [10]:

$$T_s = \frac{F}{h} \quad (1.7)$$

kde F je změřená trhací síla (N) a h je tloušťka tělesa (mm).

Při zkoušce strukturní pevnosti se používá těles různého tvaru, avšak jejich výsledky nejsou vzájemně srovnatelné, neklasifikují různé vulkanizáty ve stejném pořadí. Je to způsobeno částečně tím, že u většiny používaných zkušebních těles se vkládaná vnější síla spotřebuje nejenom na zvětšování zářezu, ale i na deformaci (protahování) tělesa. Změřená síla je proto ovlivněna nejen odolností tělesa proti trhání, ale i jeho tuhostí (modulem). Tento nedostatek je téměř odstraněn u zkušebních těles typu trouser (Obr. 1.17). Jeli zkušební těleso dostatečně široké, pak se jeho nastřížené části při zkoušce prakticky neprotahují a síla potřebná k trhání je rovna síle měřené. [10, 29]



Obr. 1.17 Zkušební těleso trouser pro stanovení strukturní pevnosti

Objektivní mírou odolnosti proti trhání je tzv. energie trhání T (trhací energie). U dostatečně širokých těles typu trouser ji lze vypočítat ze vztahu:

$$T = \frac{2F}{h} \quad (1.8)$$

Veličina T je tedy jednoduše rovna dvojnásobku strukturní pevnosti T_s při obvyklém vyhodnocení. Z fyzikálního hlediska představuje energii potřebnou k odhalení jednotky nového povrchu; její rozměr je tedy energie na jednotku plochy (N/mm). Jeli možno vyhodnotit i u těles jiného vhodného tvaru a nalezené hodnoty T jsou stejné. To ukazuje, že trhací energie je skutečně vlastností materiálu při dané teplotě a rychlosti protahování a že nezávisí na typu zkušební tělesa. [10, 23]

Oblast těsně před hrotem zářezu si lze představit jako malé zkušební tělíčko uložené kolmo ke směru šíření trhliny. Při trhání se toto elementární tělíčko protahuje z nulové hodnoty protažení až na hodnotu pevnosti a tažnosti, chová se tedy úplně stejně jako neporušené zkušební těleso makroskopických rozměrů při stanovení tahové křivky na trhacím stroji. Trhlina postupuje od jednoho elementárního tělíčka k dalšímu a vkládaná energie (energie trhání) se spotřebuje na deformaci a přetržení po sobě jdoucích elementárních objemů. [10]

Jak je patrné, energie trhání závisí nejen na pevnosti pryže v tahu, ale i na její tuhosti, tj. na celkovém tvaru tahové křivky. Největší část zkušební tělesa typu trouser není při trhání téměř vůbec deformována, kdežto místní hodnoty napětí jsou v pryži před hrotem trhliny velmi vysoké; vložená vnější energie je tu koncentrována. Při postupu trhliny se pak trhací energie rozptýluje v okolí hrotu trhliny ve formě tepla. Z teoretického výpočtu rozložení napětí v okolí modelového zářezu o průměru zakřivení d vyplynulo, že trhací energie je rovna součinu veličiny d a deformační práce E_p potřebné k přetržení neporušeného zkušební tělesa při jednosměrném protahování [10]:

$$T = E_p \cdot d \quad (1.9)$$

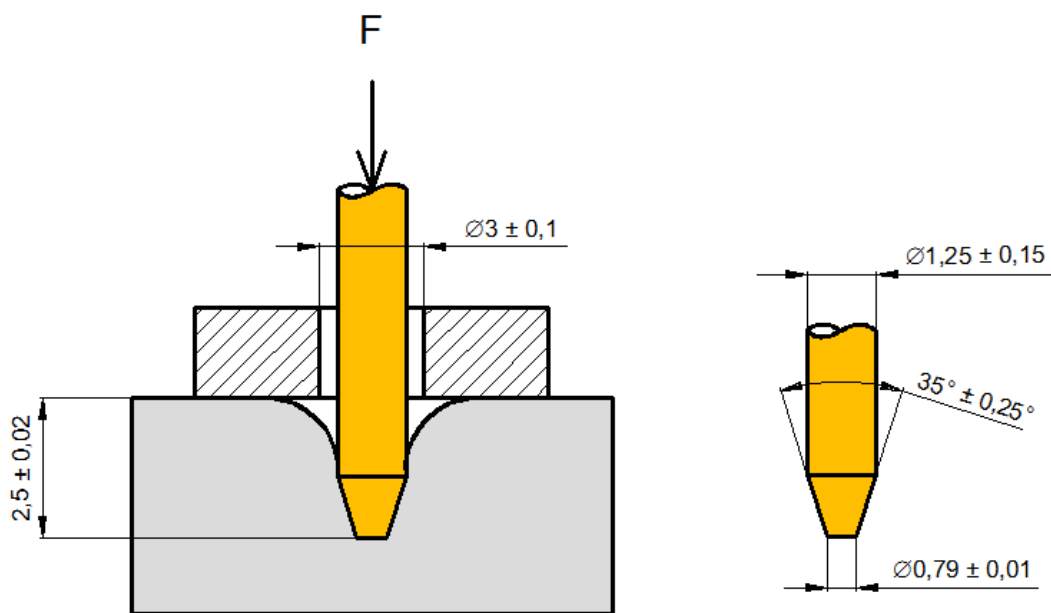
kde deformační práce potřebná k přetržení je vztažena na objemovou jednotku pryže a je rovna ploše pod tahovou křivkou. Má rozměr energie na objemovou jednotku N/mm². [10, 17]

1.9.3 Zkouška tvrdosti

Tvrdot je všeobecně informativní hodnota, která se stanoví a udává prakticky u všech druhů pryže: Lze ji měřit i u hotových výrobků bez jejich porušení.

Tvrdość pryže se nejčastěji měří na základě hloubky povrchové elastické deformace, kterou způsobí tupý hrot (indentor) vtlačovaný do pryže buď konstantní silou, nebo prostřednictvím pružiny. [10]

Z velké řady metod měření tvrdosti pryže je nejpoužívanější metoda Shore A. Je vhodná pro měření tvrdosti pryže v rozsahu 25-85 jednotek ShA, což odpovídá tvrdostem většiny technických pryží. Měření nižších anebo vyšších tvrdostí není možné považovat za správné, pouze jen za informativní. Měrnou jednotkou je jeden dílek na stupnici Shore, přičemž vyšší číslo značí tvrdší pryž. Deformace, která se vytváří v pryži vtlačovaným indentorem, je geometricky složitá, avšak přesto byly odvozeny teoretické vztahy mezi modulem pružnosti v tlaku E a tvrdostí Shore. Ve střední oblasti tvrdostí odpovídá vzrůst tvrdosti 1 °Sh přibližně vzrůstu Youngova modulu o 5 %. [10, 11]



Obr. 1.18 Schéma tvrdoměru Shore A s rozměry dle ISO

Přístroj k měření tvrdosti Shore A tvoří:

- *opěrná patka*, která musí mít průměr $18 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ a středový otvor pro indentační nástroj o průměru $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$. Její úlohou je zaručit, aby indentační nástroj vnikal do měřeného materiálu kolmo,
- *indentační nástroj*, který musí být zhotoven z tyčinky kalené oceli o průměru $1,25 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$. Hrot indentačního nástroje má tvar komolého kužele s vrcholovým úhlem $35^\circ \pm 0,25^\circ$ a s průměrem tupé špičky $0,79 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$. Hrot vyčnívá z patky přístroje $2,5 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$ (vysunutí je platné pro odpočet 0 ShA). Při měření vlivem odporu materiálu proti vnikání indentačního nástroje ustupuje hrot do vlastního tvrdoměru a převodem (např. mechanickým, změnou akumulovaného napětí) je hodnota tvrdosti zobrazená na vyhodnocovacím zařízení. [21]

Každá metoda tvrdosti si vyžaduje odlišnou tloušťku zkušební tělesa. Zjišťovaná tvrdost na tvrdoměru Shore s indentorem typu A si vyžaduje zkušební těleso o minimální tloušťce 6 mm. Při menších tloušťkách může být zkušební těleso složené z několika vrstev. Ostatní rozměry zkušební tělesa musí být pro metodu Shore A takové, aby umožňovaly měření ve vzdálenosti minimálně 12 mm od každého okraje. Jednotlivé měřené body musí být od sebe vzdáleny minimálně 6 mm. Od povrchu zkušební tělesa se vyžaduje rovinnost a rovnoběžnost v dostatečné ploše, aby se opěrná patka dotýkala zkušební tělesa na ploše o poloměru nejméně 6 mm od špičky indentoru. [20, 21, 24]



Obr. 1.19 Tvrdoměr OMAG Affri ART 13

1.10 Měření dynamických vlastností

Sledování mechanických vlastností polymerních materiálů umožňuje získávat cenné informace o jejich molekulární struktuře. Metody stanovení

viskoelastických vlastností polymerů v tuhé fázi se mohou rozdělit do dvou skupin, na metody statické a dynamické. [20]

Statické metody zjišťování viskoelastických charakteristik polymerů zahrnují měření relaxace napětí a krípu. K nevýhodám statických metod patří zejména jejich časová náročnost, výhodou je nenáročná experimentální technika. [30]

Dynamické metody zahrnují postupy, při nichž je sledovaný polymerní materiál podroben cyklicky opakované deformaci, během níž je zaznamenáván průběh napětí a deformace. [30]

Dynamické mechanické vlastnosti jsou velmi citlivé k přechodovým jevům, síťování, počtu fází přítomných látek, strukturní morfologii a k jiným jevům, které souvisí s molekulární strukturou. Obvykle používané dynamicko-mechanické přístroje měří deformaci materiálu jako odezvu na vibrační síly. Z těchto měření se určí modul a mechanické tlumení (vnitřní tření). [31, 32]

Jedna z nejcitlivějších metod schopna charakterizovat a interpretovat mechanické chování materiálu se nazývá dynamická mechanická analýza (DMA). Podstata metody DMA je založena na sledování viskoelastické odezvy materiálu podrobeného malému oscilačnímu napětí. [29]



Obr. 1.20 Mettler Toledo DMA 1

Při dynamickém namáhání je zkušební těleso cyklicky namáháno měnícím se napětím nebo je cyklicky deformováno na určitý stupeň deformace. Podobně jako u statických zkoušek lze vzorek zatěžovat v tahu, tlaku, ohybu nebo smyku. Průběh napětí a deformace může být zcela obecný. Pro jednoduchost

vyhodnocení materiálové odezvy je vhodné volit takový zkušební systém, ve kterém se napětí nebo deformace dají popsat jednoduchou periodickou funkcí o dané frekvenci. [33]

Za předpokladu, že je zkušební těleso namáháno vnějším periodickým napětím podle vztahu:

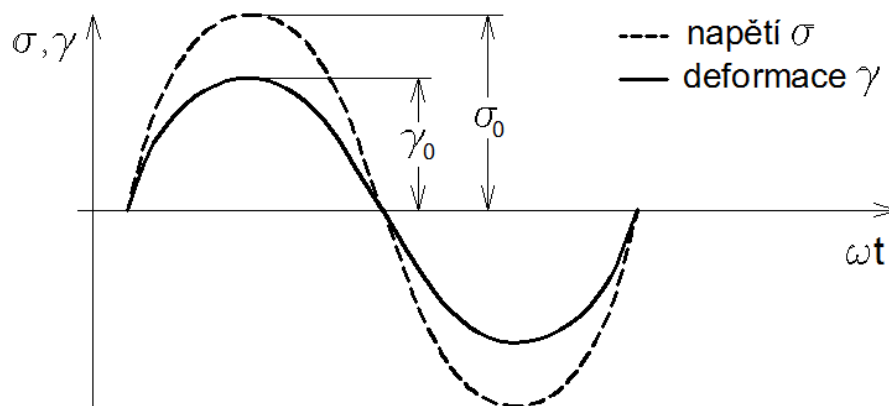
$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin \omega t \quad (1.10)$$

kde: $\omega = 2\pi f$ je úhlová frekvence, σ_0 je amplituda napětí

Toto střídavé harmonické napětí by mělo vyvolat odezvu – deformaci γ , která je po dostatečně dlouhé době od počátku působení napětí také harmonická (Obr. 1.21).

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \sin \omega t \quad (1.11)$$

kde: γ_0 je amplituda deformace

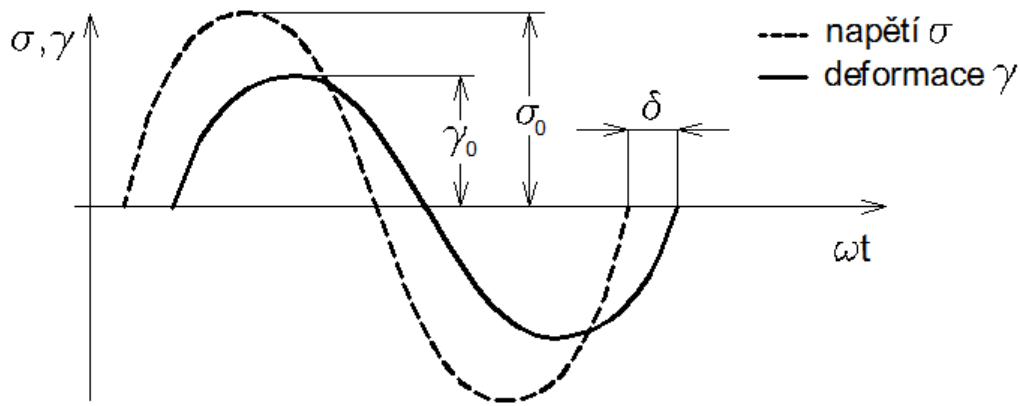


Obr. 1.21 Napěťová odezva čistě elastického materiálu

Uvedený vztah (1.13) by platil pouze pro ideálně elastické těleso, u něhož je deformace na daný podnět okamžitá. V případě viskoelastické látky (pryže) se část mechanické energie dodané při jednotlivých cyklech spotřebovává v teplo a deformace se za napětím opožďuje o úhel δ . Kde úhel δ leží v intervalu od 0 do $\pi/2$. Pro napětí a poměrnou deformaci při viskoelastickém chování platí vztahy:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin(\omega t + \delta) \quad (1.12)$$

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \sin(\omega t + \delta) \quad (1.13)$$



Obr. 1.22 Napěťová odezva pro viskoelastický materiál

Vztah (1.13) pro střídavé harmonické napětí lze upravit a rozdělit na složku s deformací ve fázi a složku předbíhající fázi o $\pi/2$.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \cos \delta \sin \omega t + \sigma_0 \cdot \sin \delta \cos \omega t \quad (1.14)$$

a odtud

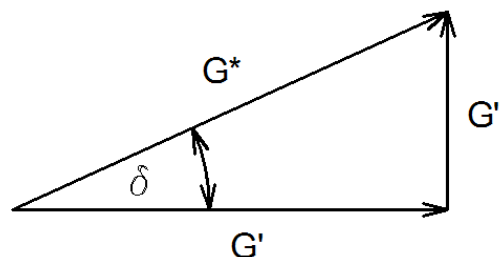
$$\sigma = \sigma' \sin \omega t + \sigma'' \cdot \cos(\omega t + \pi/2) \quad (1.15)$$

kde: $\sigma' = \sigma_0 \cdot \cos \delta$ je činná složka napětí a $\sigma'' = \sigma_0 \cdot \sin \delta$ je ztrátová složka napětí.

Potom lze definovat viskoelastickou charakteristiku danou podílem napětí a deformace, tedy komplexní dynamický modul pružnosti.

Pro konkrétní popis dynamických vlastností se obvykle používá komplexní dynamický modul pružnosti. V případě smykového napětí jde o komplexní modul pružnosti ve smyku G^* , který má analogicky k rovnici (1.15) reálnou a imaginární složku, pro který platí vztah:

$$G^* = G' + iG'' \quad (1.16)$$



Obr. 1.23 Vektorové znázornění dynamických modulů

Nebo podle vektorového znázornění (Obr. 1.23) platí vztah:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad (1.17)$$

Reálná složka komplexního modulu G' se nazývá soufázový dynamický modul (pružnosti), který je ve fázi s deformací a lze jej vyjádřit vztahem:

$$G' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cdot \cos \delta = G_0 \cdot \cos \delta \quad (1.18)$$

Tato reálná složka komplexního dynamického modulu je mírou zdánlivé tuhosti základních jednotek. To znamená, že představuje míru ideálně elastického odporu materiálu proti pružnému dynamickému napětí za daných frekvenčních a teplotních podmínek. [32]

Imaginární složka komplexního modulu G'' je označována jako ztrátový dynamický modul, který je zpožděn o úhel δ a platí pro něj dle (1.15) vztah:

$$G'' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cdot \sin \delta = G_0 \cdot \sin \delta \quad (1.19)$$

Ztrátový modul vyjadřuje míru přenosu energie mezi molekulami. Charakterizuje mechanické ztráty a určuje množství energie, které se přemění v teplo v průběhu jedné periody deformace. Pro vysoké frekvence a velmi nízké teploty se jeho hodnota blíží k nule. Za těchto podmínek jsou segmenty makromolekul nepohyblivé, takže nejsou schopny reakce na vnější zatížení. Při zvyšující se teplotě a klesající frekvenci dochází k absorpci energie a její následné přeměně v teplo. Po dosažení oblasti vysokých teplot při nízkých frekvencích jsou segmenty schopné reagovat na zatěžující napětí bez zpoždění [34]

Ztráty energie lze vysvětlit z molekulárního hlediska: Segmenty makromolekul reagují na střídavé napětí a mění uspořádání (konformaci). Změna konformace segmentu nastane až za určitý čas t . Jestliže se napětí mění s vysokou frekvencí a v čase cyklu $t \ll t_0$ dosáhne řady kladných a záporných hodnot, segment makromolekuly nestačí reagovat a ztráty budou nízké. Naopak jestliže se napětí mění s velmi nízkou frekvencí, zpožděná reakce segmentu je zanedbatelná vzhledem k času proběhnutí jednoho cyklu $t \gg t_0$ a ztráty budou rovněž nízké. Je-li doba cyklu srovnatelná s dobou potřebnou k pohybu segmentu, segment reaguje s časovým zpožděním, které je maximální, pokud $t = t_0$. [33]

K popisu tlumících schopností pryžových materiálů slouží tzv. ztrátový faktor $\tan \delta$, tj. poměr energie přeměněné v teplo (disipované) a deformační energii v průběhu cyklu. Ztrátový činitel $\tan \delta$ vyjadřuje vnitřní tření segmentů makromolekul a určí se ze vztahu: [35]

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (1.20)$$

kde: G' je soufázový dynamický modul a G'' je ztrátový dynamický modul.

Ztrátový faktor také závisí na vlastnostech makromolekulární sítě. Změna $\tan \delta$ vyjadřuje posun mezi vlivem deformací částečně odbourané sítě a vlivem sítě dosud nedotčené. Kvalitativně platí: Čím větší je podíl makromolekulární sítě, která odolává dynamické deformaci (tj. čím menší je podíl odbourané makromolekulární sítě), tím nižší je hodnota $\tan \delta$. [36]

Jako dodatečná viskoelastická veličina je užívána komplexní poddajnost C^* , definována vztahem:

$$C^* = C' + iC'' = \frac{1}{G^*} \quad (1.21)$$

kde: $C' = G'/G^{*2}$ je elastická poddajnost a $C'' = G''/G^{*2}$ je ztrátová poddajnost. [20]

2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je studium vlivu výrobní technologie na mechanické vlastnosti pryžových zkušebních těles. V praxi jsou pryžová zkušební tělesa připravována vysekáváním z vylisované plotničky, a to i k testování směsí určených výhradně ke vstřikování. Rozdílný způsob přípravy zkušebních těles a samotné výroby však může negativně ovlivnit deklarované mechanické vlastnosti výsledného výrobku. Práce si klade za cíl prokázat, do jaké míry jsou vybrané mechanické vlastnosti připravených zkušebních těles z vybraných pryžových materiálů ovlivněny vstřikováním, a tuto případnou odlišnost vyhodnocuje.

Postup při řešení disertační práce:

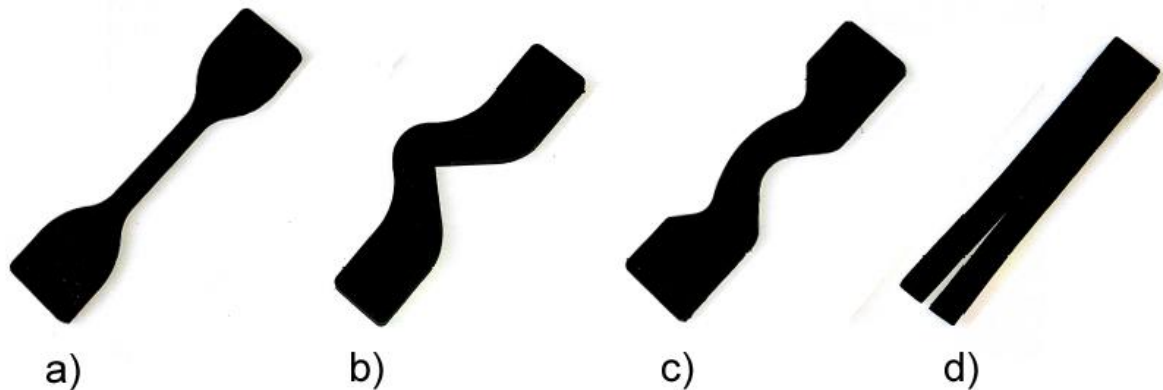
- Konstrukční návrh a výroba univerzální vstřikovací formy na zkušební tělesa dle ISO 37 a ISO 34-1.
- Volba gumárenských směsí, které jsou svými zpracovatelskými vlastnosti určeny pro technologii vstřikování.
- Příprava zkušebních těles:
 - standardním postupem (vyseknutím z vylisované plotničky),
 - vyseknutím ze vstřikované plotničky,
 - vstřikováním.
- Provedení mechanických zkoušek na připravených zkušebních tělesech dle platných norem.
 - stanovení tahových vlastností dle ISO 37,
 - stanovení strukturních vlastností dle ISO 34-1,
 - stanovení dynamických vlastností pomocí DMA.
- Zpracování naměřených dat a jejich statistické vyhodnocení.

3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Disertační práce se zabývá výzkumem možnosti nahrazení standardního technologického postupu přípravy pryžových zkušebních těles (vysekávání z vylisovaných plotniček) technologií vstřikování. Práce popisuje a hodnotí možné změny vybraných mechanických vlastností vzniklých při tomto nestandardním postupu přípravy. Pro experiment byla navržena a vyrobena vstřikovací forma pro zkušební tělesa standardizovaných tvarů a rozměrů. Rovněž byly zvoleny dvě gumárenské směsi splňující kritéria pro vstřikování.

3.1 Zkušební tělesa

Pro vlastní experiment byla použita standardizovaná zkušební tělesa o předepsaném tvaru a rozměru (Obr. 3.1). Zkušební těleso dumbbell – typ 1 (ISO 37) slouží pro stanovení tahových vlastností a těleso graves – bez zářezu, crescent a trouser (ISO 34.1) slouží pro stanovení strukturních vlastností.

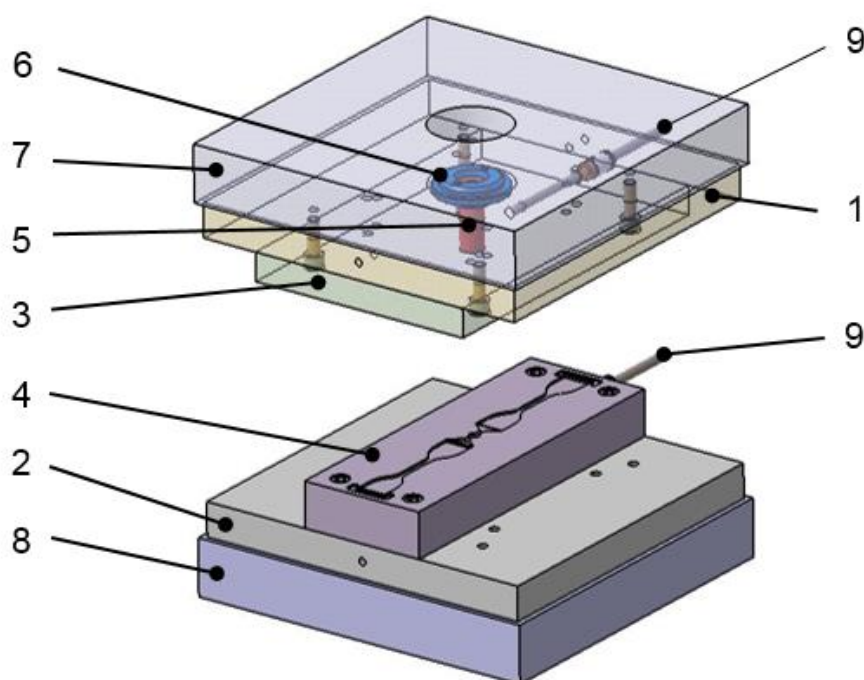


Obr. 3.1 Zkušební tělesa

a) dumbbell (typ 1), b) graves (bez zářezu), c) crescent, d) trouser

3.2 Vstřikovací forma

K provedení experimentu bylo nutno navrhnout a vyrobiť vstřikovací formu pro zhotovení uvedených zkušebních těles (Obr. 3.2). Forma byla navržena s ohledem na vstřikovací stroj REP V27/Y125. Tvoří ji univerzální rám, do kterého se podle potřeby vkládají tvarové desky pro dané tvary zkušebních těles. Horní část formy se skládá z upínací desky, tvarové desky, vtokové vložky a středícího kroužku. Spodní část formy tvoří opět upínací deska a výměnná tvarová deska. Forma je vyhřívána vedením tepla od upínacích desek vstřikovacího stroje a je regulována pomocí teplotních čidel v tvarových deskách. Vzhledem ke konstrukci vstřikovacího stroje, forma nedisponuje vyhazovacím systémem, vyjímání vstřikovaných těles je proto ruční.



Obr. 3.2 Vstřikovací forma

1 – horní upínací deska, 2 – dolní upínací deska, 3 – horní tvarová deska, 4 – dolní (výměnná) tvarová deska, 5 – vtoková vložka, 6 – středící kroužek, 7 – horní upínací deska stroje, 8 – dolní upínací deska stroje, 9 – teplotní čidlo

Všechny části formy, kromě upínacích (topných) desek jsou vyrobeny z materiálu s označením Certal EN AW-7022. Jedná se o slitinu hliníku, zinku, hořčíku a mědi (AlZn5Mg3Cu) a řadí se mezi nejpevnější hliníkové slitiny. Hojně se používá k výrobě forem pro vstřikování malých sérií, popřípadě forem k vyfukování. Výhodou tohoto materiálu vůči oceli je nižší cena, lepší tepelná vodivost a nižší hmotnost při dostatečných mechanických vlastnostech.

Tab. 3.1 Fyzikální vlastnosti materiálu EN AW-7022[22]

Hustota:	2,76 g/cm ³
Pevnost v tahu R _m :	490 – 555 MPa
Modul pružnosti v tahu:	72 000 MPa
Pevnost v tahu:	550 MPa
Koef. tepelné roztažnosti:	23,6.10 ⁻⁶ K ⁻¹
Tepelná vodivost:	120 – 150 W/m.K
Tvrdość podle Brinella:	165 – 170 HB

Polotovar je dodáván ve válcovaných deskách po tepelné úpravě T6, což znamená, že byl ohřátý na teplotu žíhání a poté následně podstoupil precipitační vytvrzování. Desky byly nařezány na požadované rozměry s přídavkem na obrábění a přebroušeny na drsnost Ra 0,2 μm .

Tvarové dutiny formy byly vyrobeny na číslicově řízeném obráběcím stroji, konkrétně na CNC frézce AZK HWT C-442. Pro vytvoření NC programu byl použit software NX 8.0 od firmy Siemens. Další obráběcí operace (vrtání děr pro šrouby a teplotní čidla, řezání závitů apod.) byly provedeny na vertikální stojanové vrtačce B40 GSM. Celý návrh, výroba a sestavení vstříkovací formy byl realizován na strojích a zařízeních v rámci Ústavu výrobního inženýrství.



Obr. 3.3 Výroba vstříkovací formy

Celkem bylo vyrobeno 5 tvarových desek pro jednotlivé tvary zkušebních těles a plotničku vždy o násobnosti 2 (Obr. 3.4 a Obr. 3.5).



Obr. 3.4. Výměnné tvarové desky pro výrobu zkušební těles



Obr. 3.5. Výměnná tvarová deska pro výrobu plotničky

3.3 Zvolené materiály

Pro tuto práci byly vybrány dvě kaučukové směsi, které se v současné době používají ke vstřikování výrobků v automobilovém průmyslu. Prvním materiálem je kaučuková směs přírodního kaučuku NR a butadienového kaučuku BR s výrobním označením 51A55102B (v práci značen jako NR+BR). Druhým materiálem je kaučuková směs syntetického kaučuku EPDM s výrobním označením 51M6573 (v práci značen jako EPDM).

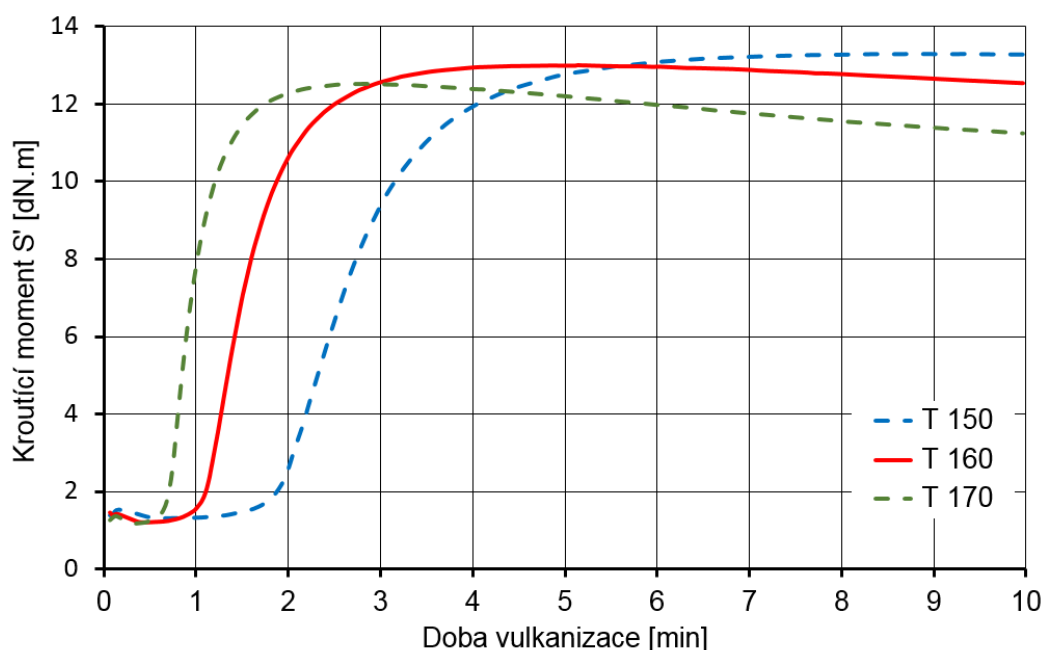
3.3.1 Kaučuková směs NR+BR

První kaučuková směs byla vybrána jako zástupce směsí na bázi přírodního kaučuku. Přibližné složení směsi je uvedeno v následující tabulce (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Složení směsi NR+BR

Složka směsi	Obsah [%]
Kaučuk NR	35
Kaučuk BR	20
Změkčovadla	6,5
Saze	27
Sírný vulkanizační systém	11,5

Pro volbu vhodných zpracovatelských parametrů zejména pro vstřikování, byly ihned po dodání směsí pomocí přístroje RPA 2000 změřeny následující vulkanizační křivky (Obr. 3.6).



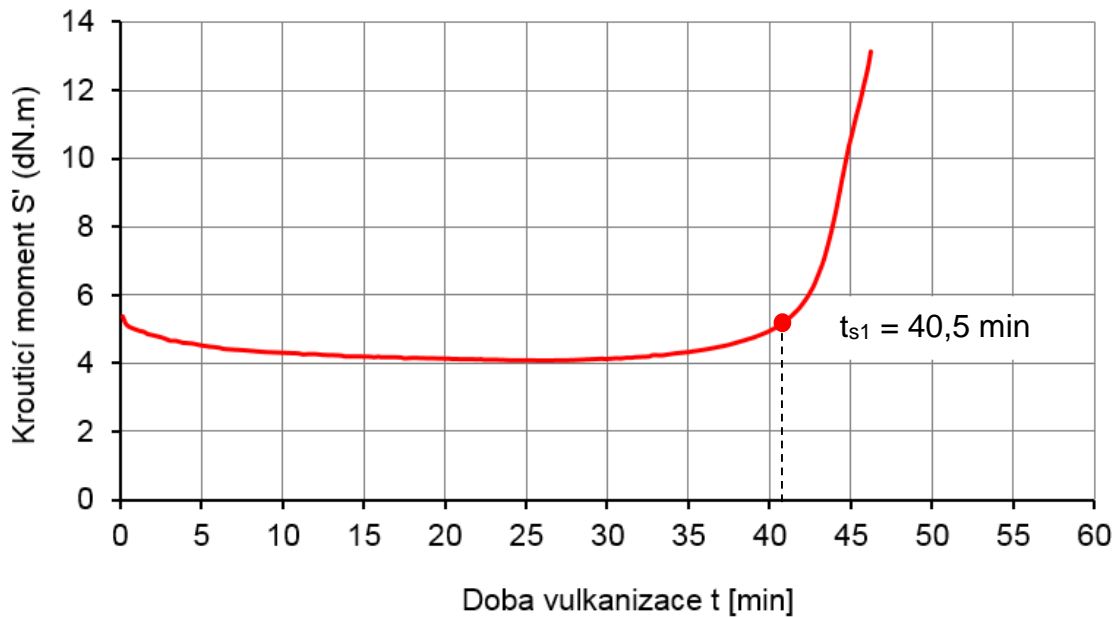
Obr. 3.6 Vulkanizační křivky směsi NR+BR

Byly změřeny tři vulkanizační křivky pro teploty 150 °C, 160 °C a 170 °C, z důvodu většího pochopení citlivosti dané směsi na teplotu. Pro výrobu zkušebních těles z této směsi byla zvolena střední teplota 160 °C, odpovídající vulkanizační teplotě zvolené v praxi (červená křivka). Následující tabulka (Tab. 3.3) ukazuje důležité vulkanizační parametry odečtené z vulkanizační křivky.

Tab. 3.3 Vulkanizační parametry při 160°C

$S' (M_L)$	1,21 dN.m
$S' (M_H)$	13,01 dN.m
t_{s1}	1,04 min
t_{10}	1,14 min
t_{50}	1,50 min
t_{90}	2,40 min

Vzhledem k technologii vstřikování, kdy se kaučuková směs přehřívá, plastikuje a dávkuje pomocí plastikační jednotky, bylo provedeno kontrolní měření tzv. bezpečnosti směsi. Jinými slovy, bylo potřeba zkontrolovat, jak dlouho může dávka této směsi setrvat v plastikační jednotce při 100 °C, aniž by došlo k její navulkanizaci. Měřicí podmínky přístroje RPA, byly nastaveny tak, aby se co nejvíce podobaly podmínkám, kterým je směs vystavena v plastikační jednotce. U naměřené vulkanizační křivky (Obr. 3.7) lze vidět, že bezpečnost směsi t_{s1} činí 40,5 minut, což je plně dostačující.



Obr. 3.7 Vulkanizační křivka směsi NR+BR při 100°C

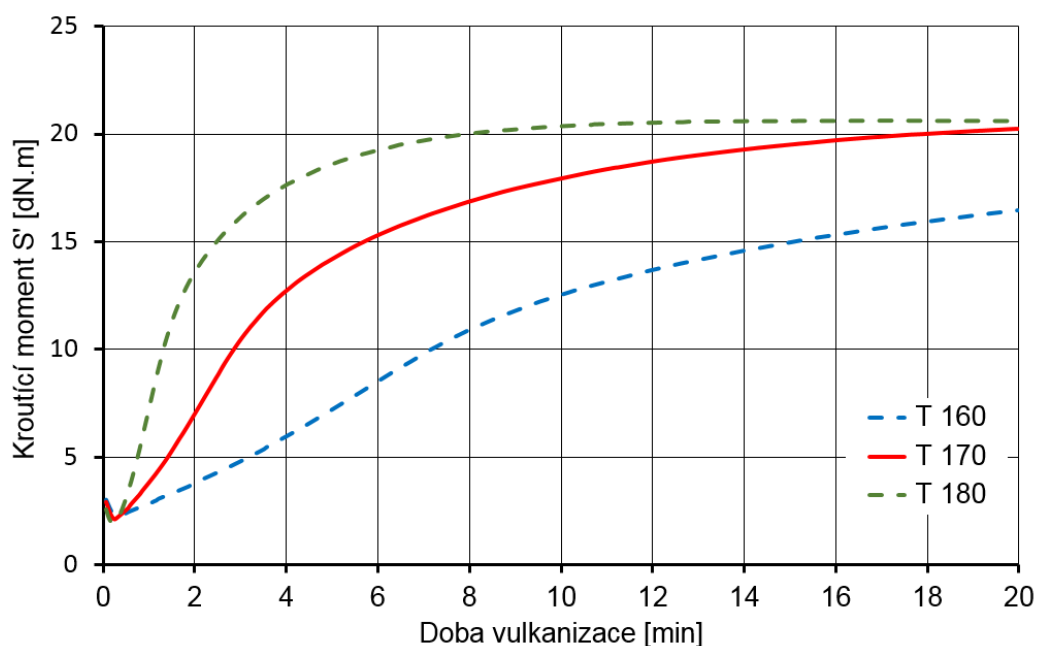
3.3.2 Kaučuková směs EPDM

Druhá kaučuková směs byla vybrána jako zástupce směsí na bázi syntetického kaučuku. Přibližné složení směsi je v následující tabulce (Tab. 3.4).

Tab. 3.4 Složení směsi EPDM

Složka směsi	Obsah [%]
Kaučuk EPDM	45
Změkčovač	15
Saze	30
Sírný vulkanizační systém	10

Pro směs byly rovněž naměřeny tři vulkanizační křivky pro teploty 160 °C, 170 °C a 180 °C. (Obr. 3.8). Pro výrobu zkušebních těles z této směsi byla vybrána střední teplota 170 °C, která taktéž odpovídá vulkanizační teplotě zvolené v praxi. (červená křivka).



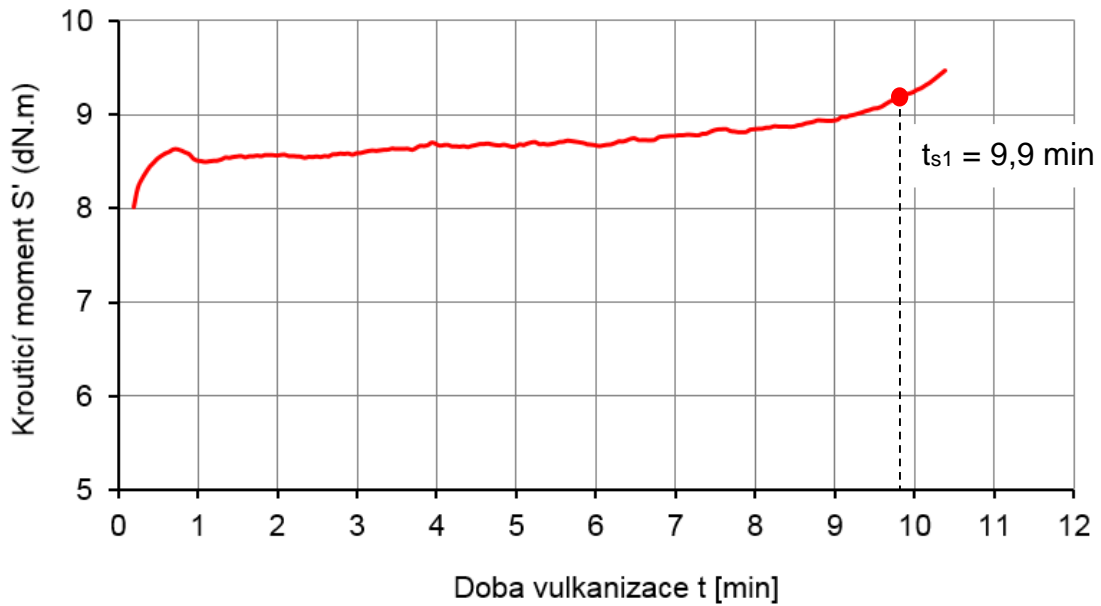
Obr. 3.8 Vulkanizační křivky směsi EPDM

Následující tabulka (Tab. 3.5) ukazuje důležité vulkanizační parametry odečtené z vulkanizační křivky.

Tab. 3.5 Vulkanizační parametry při 170°C

S' (M_L)	2,11 dN.m
S' (M_H)	20,24 dN.m
t_{s1}	0,54 min
t_{10}	1,04 min
t_{50}	3,26 min
t_{90}	11,16 min

Pro kontrolu chování této směsi v plastikační jednotce vstřikovacího stroje byla taktéž naměřena vulkanizační křivka při 100 °C (Obr. 3.9). U této směsi bezpečnost t_{s1} činí 9,9 minut, což je dostačující. Ovšem při dávkování směsi v delších vstřikovacích cyklech, resp. delších vulkanizačních dobách se musí dávat pozor, aby směs tuto bezpečnost svým setrváním v plastikační jednotce nepřekročila. Lépe je směs dávkovat s menším časovým intervalem (např. 1 minutu) před samotným vstřikováním.



Obr. 3.9 Vulkanizační křivka směsi EPDM při teplotě 100°C

3.4 Příprava zkušebních těles

Dodané kaučukové směsi ve formě pásů, bylo zapotřebí pomocí laboratorního dvouválce Baťa (rozměry válců 150 x 400 mm, frikce 1:1,2) znovu rozválcovat a připravit na požadované tloušťky. Protože každý technologický postup přípravy těles si žádá jinou formu polotovaru.



Obr. 3.10 Laboratorní dvouválec Baťa

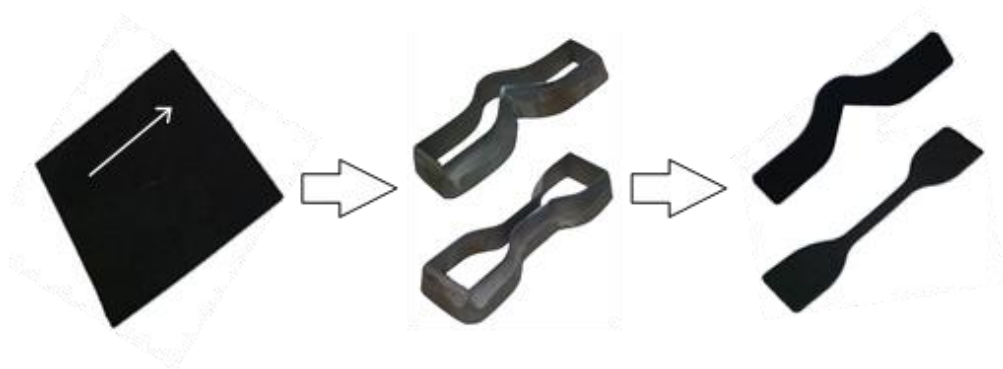
3.4.1 Příprava těles standardní metodou

V případě standardní metody přípravy těles, tak jak předepisuje norma ČSN ISO 23529, byly nejprve vysekány polotovary ve tvaru desky. Poté byly polotovary vloženy do předehřátého vulkanizačního lisu a vylisovány plotničky

rozměru 120 x 120 mm o tloušťce 2 mm při zvolených procesních podmínkách. (Tab. 3.6). Samotná zkušební tělesa byla vyseknuta pomocí standardizovaných tvarových nožů, a to vždy ve směru válcování, aby nedošlo k záměně směru anizotropie (Obr. 3.12).



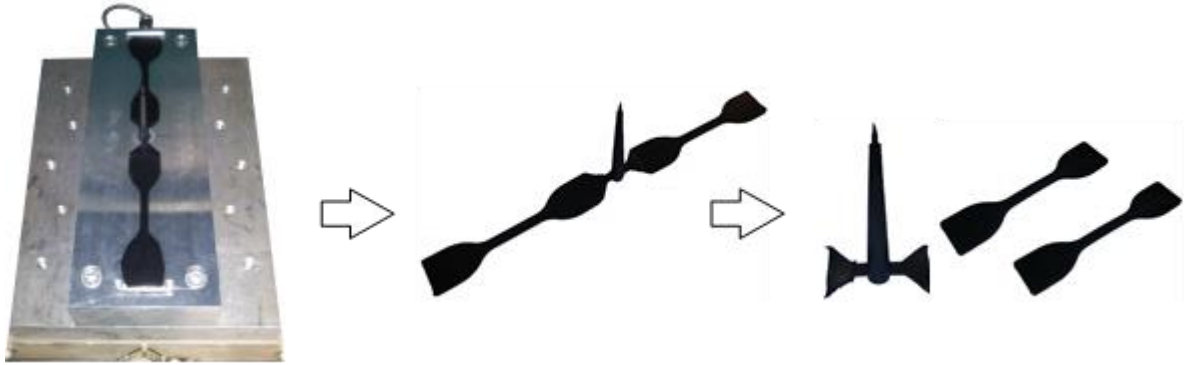
Obr. 3.11 Vulkanizační lis



Obr. 3.12 Příprava těles standardní metodou

3.4.2 Příprava těles vstřikováním

V případě vstřikování byla směs o tloušťce 4 mm nařezána na pásy o šířce 4 ÷ 5 mm k plnění plastikační jednotky vstřikovacího stroje (Obr. 3.14). Poté byla tělesa vstřikována při zvolených procesních podmínkách (Tab. 3.6). Po ukončení vstřikovacího cyklu, byla tělesa ručně vytažena z formy a ochlazena volně na vzduchu. Poté byl odstříhnut vtokový zbytek (Obr. 3.13). Všechna zkušební tělesa byla vyrobena z jedné šarže dodané směsi.



Obr. 3.13 Příprava těles vstřikováním

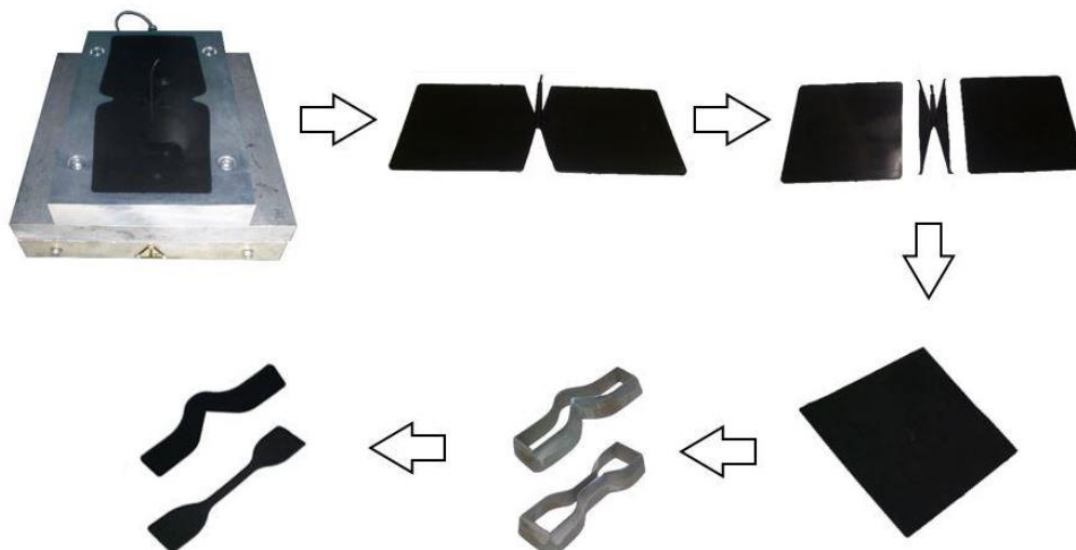


Obr. 3.14 Vertikální vstřikovací stroj REP V27/Y125

Vertikální vstřikovací stroj REP V27/Y125 disponuje maximální uzavírací silou 502 kN, plastikační jednotku tvoří šnek o průměru 20 mm a vstřikovací jednotka má kapacitu 125 cm³. Do stroje je možné upnout formu o maximálních rozměrech 300 x 300 x 495 mm. Stroj umožňuje připojení teplotních senzorů, které slouží k regulaci teploty pro správnou temperaci formy. Stroj je schopen vyvinout maximální vstřikovací tlak 25 MPa. Vstřikovaná dávka je zadávána v jednotkách mm/s a určuje posuv pístu vstřikovací jednotky, přičemž 1 mm posuvu pístu je roven objemu 0,152 cm³ dávky směsi. Po spuštění stroje je zapotřebí vytemperovat vstřikovací formu, plastikační a vstřikovací jednotku.

3.4.3 Příprava těles vyseknutím ze vstříkované plotničky

Pro třetí, kombinovaný způsob přípravy zkušebních těles, se nejprve vstříkovaním připravila plotnička předepsaných rozměrů a poté se pomocí tvarových nožů vysekly příslušné tvary těles, jako při standardní přípravě. Tvar zkušebního tělesa byl vždy vyseknut ve směru vstříkovaní. Při vstříkovaní plotničky byly opět dodrženy stejné procesní podmínky jako v případě vstříkovaných těles (Tab. 3.6).



Obr. 3.15 Příprava těles vyseknutím ze vstříkované plotničky

Tab. 3.6 Procesní podmínky výroby zkušebních těles

		Lisování	Vstříkování
Teplota	formy	160 °C (NR+BR) 170 °C (EPDM)	
	směsí	23 °C	100°C*
Tlak	lisovací	20 MPa	-
	vstříkovací	-	20 MPa
Doba vulkanizace		2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 minut (NR+BR) 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20 minut (EPDM)	

*) Čas předehřevu obou směsí v plastikační jednotce činil 40 sekund.

Jednotlivé vulkanizační doby obou směsí byly zvoleny v určitých intervalech od hodnoty t_{50} tak, aby se mohl současně sledovat případný vliv způsobu přípravy na stupeň zesítní.

3.5 Mechanické zkoušky

K vzájemnému srovnání mechanických vlastností zkušebních těles byly vybrány zkoušky, pro které jsou daná tělesa předepsána. Jedná se o tahovou zkoušku a zkoušku strukturní pevnosti. Jako třetí doplňují zkouška, byla zvolena zkouška tvrdosti Shore A.

3.5.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla provedena dle předepisující normy ISO 37 na tahovém měřicím přístroji T 2000 Alpha Technologies. Zkušební tělesa byla upnuta do speciálních pneumatických čelistí a posléze natahována předepsanou konstantní rychlostí 500 mm/min až do jejich přetržení. Poté byla vyhodnocena data tahového napětí, prodloužení a jednotlivých modulů pružnosti v tahu při 100 %, 200 % a 300 % prodloužení. [22]

3.5.2 Zkouška strukturní pevnosti

Zkouška strukturní pevnosti dle normy ISO 34-1 byla rovněž provedena na tahovém měřicím přístroji T 2000 Alpha Technologies. Tělesa typu graves (bez zářezu) a crescent byla natahována rychlostí 500 mm/min a tělesa typu trouser rychlostí 100 mm/min až do jejich porušení či přetržení. Poté byla vyhodnocena naměřená data maximální síly potřebné k přetržení a vypočítána strukturní pevnost. [23]



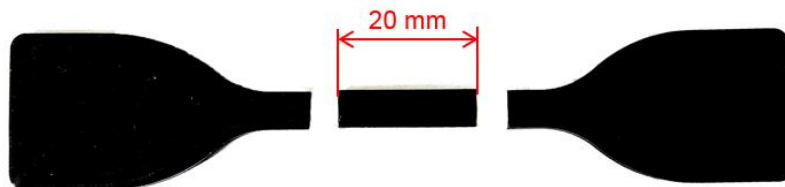
Obr. 3.16 Tahový měřicí přístroj T 2000

3.5.3 Zkouška tvrdosti Shore A

Zkouška tvrdosti probíhala v souladu s normou ČSN ISO 7619-1 na tvrdoměru OMAG Affri ART 13 s použitím indentoru Shore typu A. Pro dosažení minimální tloušťky zkušebního tělesa (6 mm) byly použity tři tělesa typu graves o tloušťce 2 mm položeny na sobě. Měření tvrdosti bylo provedeno s opakovatelností 10 na různých místech zkušebního tělesa od sebe vzdálených do 6 mm. [24]

3.6 Dynamická mechanická analýza (DMA)

Dynamická mechanická analýza byla provedena na měřícím zařízení Mettler Toledo DMA 1. Vzhledem ke způsobu upnutí měřeného vzorku do tohoto zařízení nebylo možné použít ani jedno z vyrobených těles v původních rozměrech. Jako zkušební vzorek tedy posloužila zúžená část tělesa dumbbell o délce 20 mm (Obr. 3.17).



Obr. 3.17 Zkušební vzorek pro zkoušku DMA

Připravený vzorek byl upnut do čelistí měřící hlavy přístroje, přičemž jedna z čelistí je pevná a druhá oscilační s frekvenčním rozsahem $0,001 \div 300$ Hz. Při upínání byl vzorek nejprve upnut do přisunuté oscilační čelisti a poté do pevné čelisti. Aby byl vzorek předepjatý, oscilační čelist se odsune s požadovanou předepínací silou. Upnutí vzorku do čelistí je manuální pomocí dvojce šroubů na každé čelisti (Obr. 3.18).

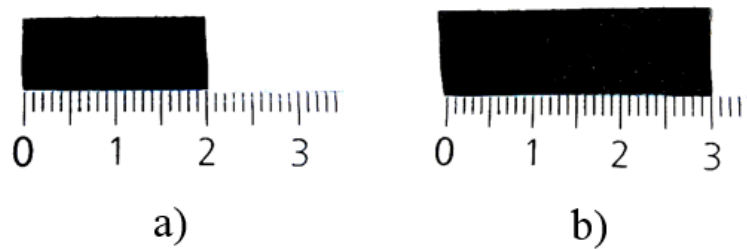


Obr. 3.18 Upnutý vzorek v měřící hlavě přístroje Mettler Toledo DMA 1

Při vlastním měření byl vzorek zatížen cyklicky na tah frekvencí od 10 do 130 Hz (s přírůstkem 10 Hz). Měření probíhalo při pokojové teplotě 23 °C. Měřenými parametry byly: komplexní dynamický modul v tahu E^* , elastický modul v tahu E' , ztrátový modul v tahu E'' a ztrátový faktor $\tan \delta$.

3.7 Zkouška stupně zesítnění vlivem botnání

Poslední provedenou zkouškou byla zkouška zjištění relativního stupně zesítnění, resp. změny hmotnosti vzorku vlivem botnání v kapalině. Tento experiment je inspirován zkouškou ke stanovení účinku kapalin dle ISO 1817. V časovém rozmezí 24 hodin byl sledován nárůst hmotnosti vzorku dané kaučukové směsi vlivem botnání. Pro obě směsi byla zvolena tatáž kapalina – methylbenzen (toluen). Jako vzorek posloužila opět středová část tělesa dumbbell. (Obr. 3.19). Experiment probíhal za pokojové teploty.



Obr. 3.19 Vzorek pro zkoušku zesítnění botnáním
a) nenabotnaný b) nabotnaný

3.8 Způsob vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty všech provedených zkoušek byly graficky zpracovány pomocí programu MS Excel a podrobnější statistické vyhodnocení dat včetně box-plotových diagramů bylo zpracováno pomocí programu Minitab. Pro všechny skupiny vyrobených těles (dle typu směsi, dle typu tělesa, dle metody přípravy a dle doby vulkanizace) bylo provedeno 10 měření pro vyhodnocení jedné veličiny (výběrový soubor $n = 10$).

Byly vyhodnocovány tyto statistické parametry:

- Odhad aritmetického průměru \bar{x} – vyjadřuje střední hodnotu výběrového souboru o n prvcích.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

- Odhad směrodatné odchylky s – vyjadřuje průměrnou odchylku naměřených dat od odhadu aritmetického průměru.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

- Odhad mediánu \tilde{x} – vyjadřuje střední hodnotu aritmetického průměru výběrového souboru, kdy 50 % naměřených dat leží nad a 50 % pod touto hodnotou. Je-li n sudé číslo, pak

$$\tilde{x} = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} \quad (3.3)$$

- Nejistota měření typu A u_a – vyjadřuje interval, ve kterém se nachází skutečná hodnota naměřených dat s určitou pravděpodobností.

$$u_a = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

- Variační koeficient v_x – vyjadřuje, z kolika procent se v průměru odchylují jednotlivá naměřená data od aritmetického průměru.

$$v_x = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (3.5)$$

- Variační rozpětí R – vyjadřuje rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou souboru naměřených dat.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3.6)$$

Jednotlivé výsledky ze všech zkoušek jsou uvedeny v přílohách, kde jsou zpracovány v podobě box-plotových diagramů a tabulek.

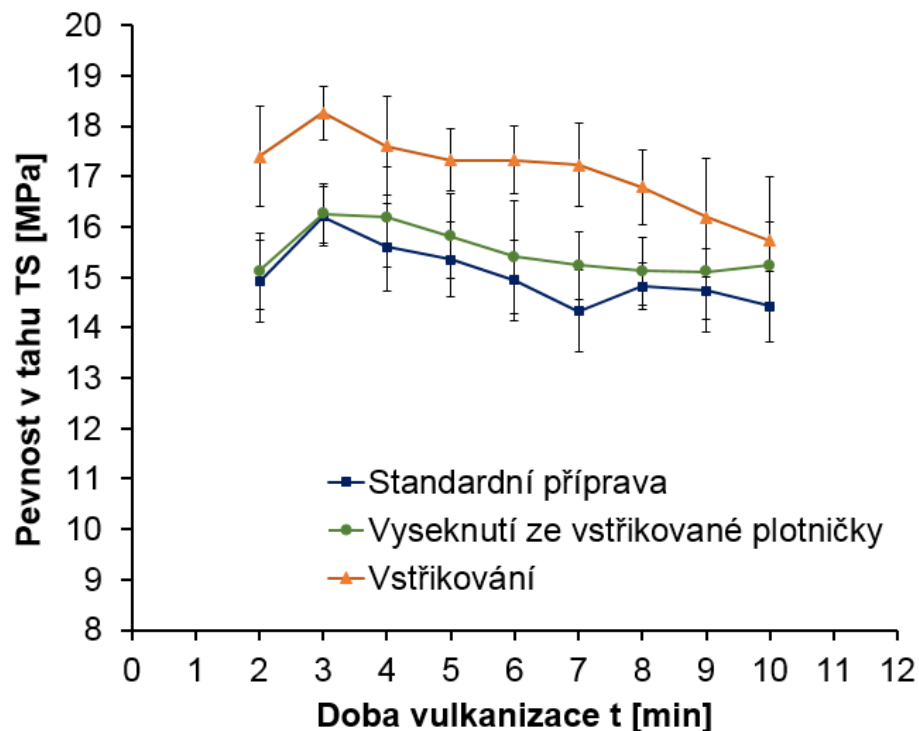
4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

Výsledky práce jsou rozděleny do dílčích částí charakterizujících mechanické vlastnosti studovaných gumárenských směsí. Jako poslední jsou uvedeny výsledky zkoušky stupně zesílení pomocí botnání.

4.1 Výsledky mechanických zkoušek kaučukové směsi NR+BR

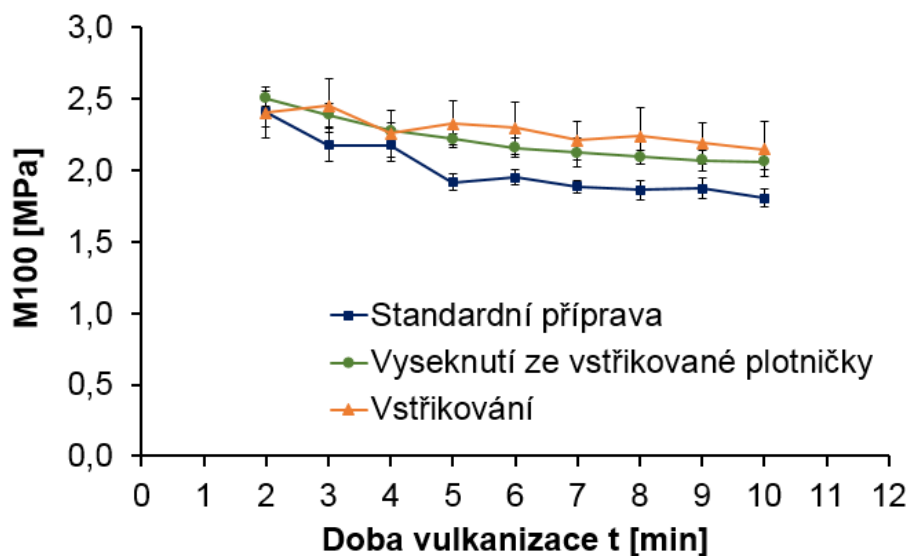
4.1.1 Výsledky tahové zkoušky

Z vyhodnocených dat tahové zkoušky (Obr. 4.1) bylo zjištěno, že s rostoucí dobou vulkanizace roste napětí potřebné k přetržení zkušebního tělesa. Po překročení doby vulkanizace 3 minut, dochází k pozvolnému poklesu meze pevnosti v tahu u všech tří technologických způsobů přípravy. Klesající tendence meze pevnosti je způsobena „převulkanizováním“ směsi. Tímto se potvrzuje skutečnost, že vulkanizát na bázi přírodního kaučuku s delší dobou vulkanizace dostává lepší mechanické vlastnosti, avšak pouze do tzv. optima vulkanizace, poté dochází k reverzi, k postupnému rozpadu sirných vazeb a zhoršování většiny mechanických vlastností. [36] Z výsledků je taktéž patrné, že tělesa vyrobená vstřikováním disponují vyšší pevností (o 12,7 % v přibližně optimální době vulkanizace 3 minut) než tělesa připravena standardně (vyseknutím z lisované plotničky) a tělesa připravena vyseknutím ze vstřikované plotničky, kde rozdíl v době 3 minut činí jen 0,4 %.

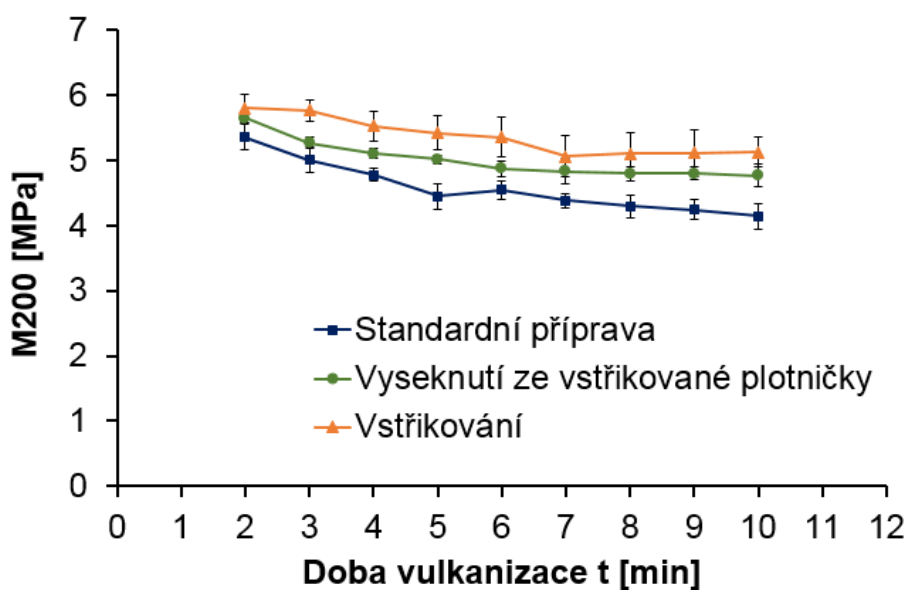


Obr. 4.1 Závislost tahového napětí na době vulkanizace (směs NR+BR)

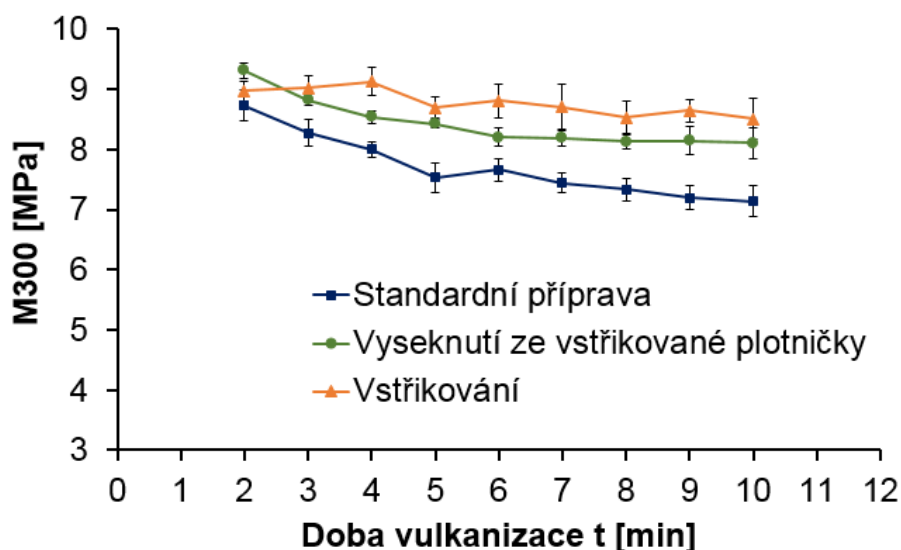
Další výsledky z tahové zkoušky (Obr. 4.2, Obr. 4.3 a Obr. 4.4) ukazují hodnoty jednotlivých modulů pružnosti v tahu při prodloužení 100 %, 200 % a 300 %. Klesající tendence naměřených modulů pružnosti v jednotlivých dobách vulkanizace předchozí tvrzení jen potvrzují. Obecně platí, že hodnota modulu pružnosti závisí (při stejném obsahu plniv a změkčovadel) na počtu příčných vazeb. Klesající tendence modulu pružnosti je tedy s největší pravděpodobností způsobena klesajícím stupněm zesílení vlivem již zmíněné reverze. Výsledky z tahové zkoušky směsi NR+BR ukázaly jistý vliv rozdílné technologie přípravy zkušebních těles. Vstřikovaná tělesa ve všech sledovaných dobách vulkanizace vykazují v průměru 12 % navýšení meze pevnosti v tahu.



Obr. 4.2 Závislost modulu M_{100} na době vulkanizace (směs NR+BR)



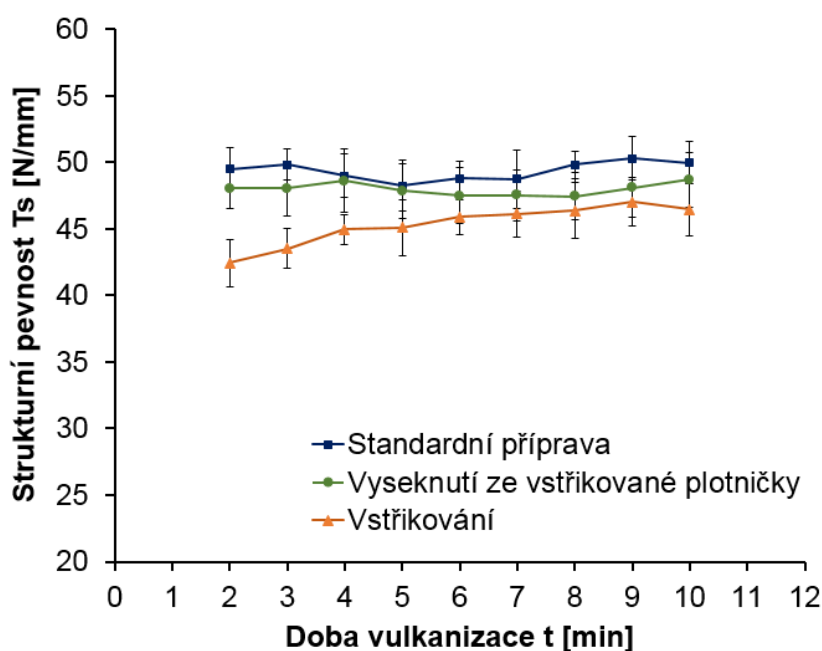
Obr. 4.3 Závislost modulu M_{200} na době vulkanizace (směs NR+BR)



Obr. 4.4 Závislost modulu M300 na době vulkanizace (směs NR+BR)

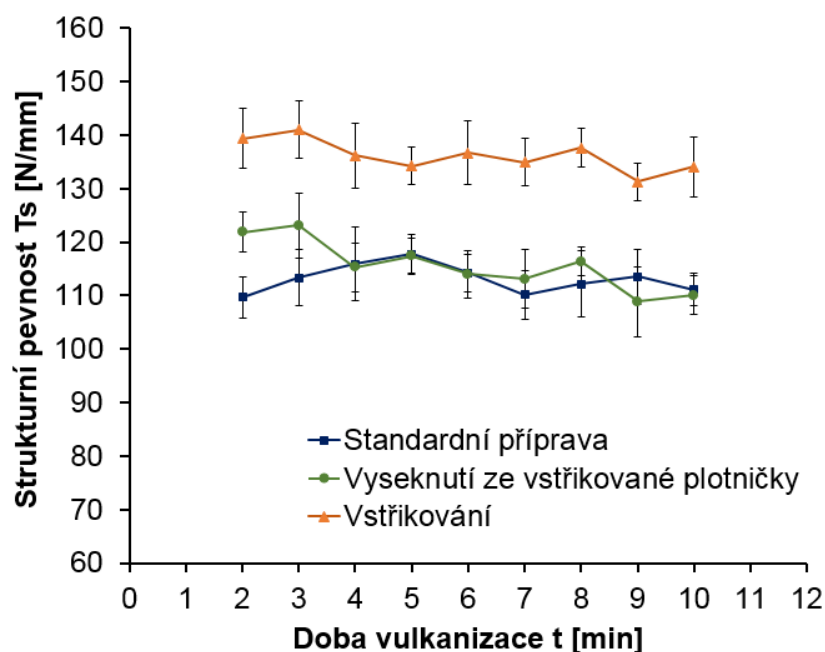
4.1.2 Výsledky zkoušek strukturální pevnosti

Další získané výsledky ukazují strukturální pevnost tělesa graves (Obr. 4.5), tělesa crescent (Obr. 4.6) a tělesa trouser (Obr. 4.7) v závislosti na vulkanizační době. S rostoucí dobou vulkanizace se strukturální pevnost tělesa graves, crescent a trouser výrazně nemění. To znamená, že stupeň zesílení vulkanizátu nemá výrazný vliv na strukturální pevnost, což potvrzuje poznatky uvedené v literatuře [10]. Mezi jednotlivými metodami přípravy však k patrným rozdílům dochází. Strukturální pevnost vstřikovaných těles graves poklesla v době optima vulkanizace o 14,4 % oproti standardně vyrobeným tělesům.

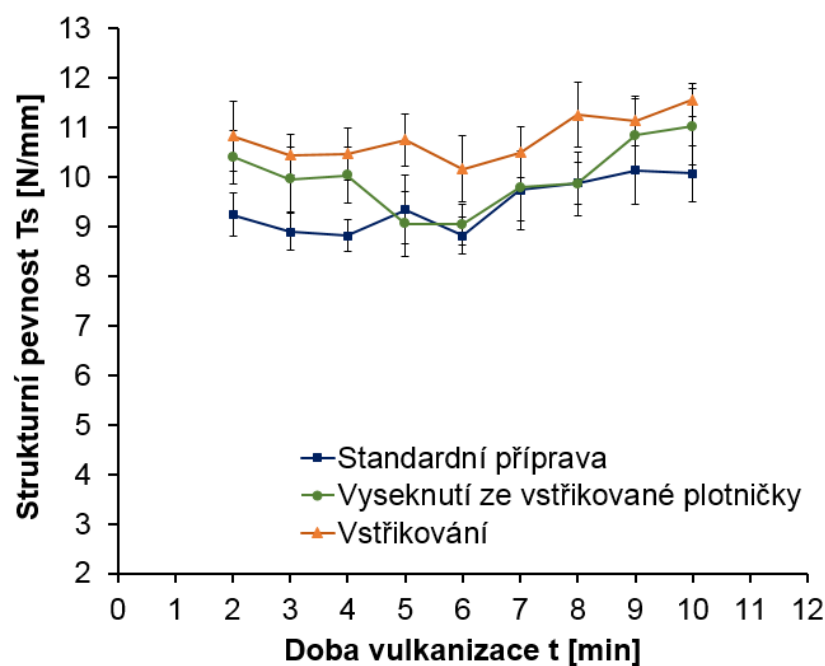


Obr. 4.5 Závislost strukturální pevnosti na době vulkanizace – těleso graves (směs NR+BR)

Naproti tomu strukturní pevnost vstřikovaných těles crescent ve stejné vulkanizační době vzrostla o 24,4 % a v případě strukturní pevnosti trouser činí rozdíl 17,3 % ve prospěch vstřikovaných těles. Tělesa crescent nemají výrazné zářezy, které by příliš koncentrovaly napětí. Při protahování se především deformační energie spotřebovává k protahování tělesa, než k šíření trhliny. Proto strukturní pevnost u tohoto typu tělesa nabývá obecně vyšších hodnot.



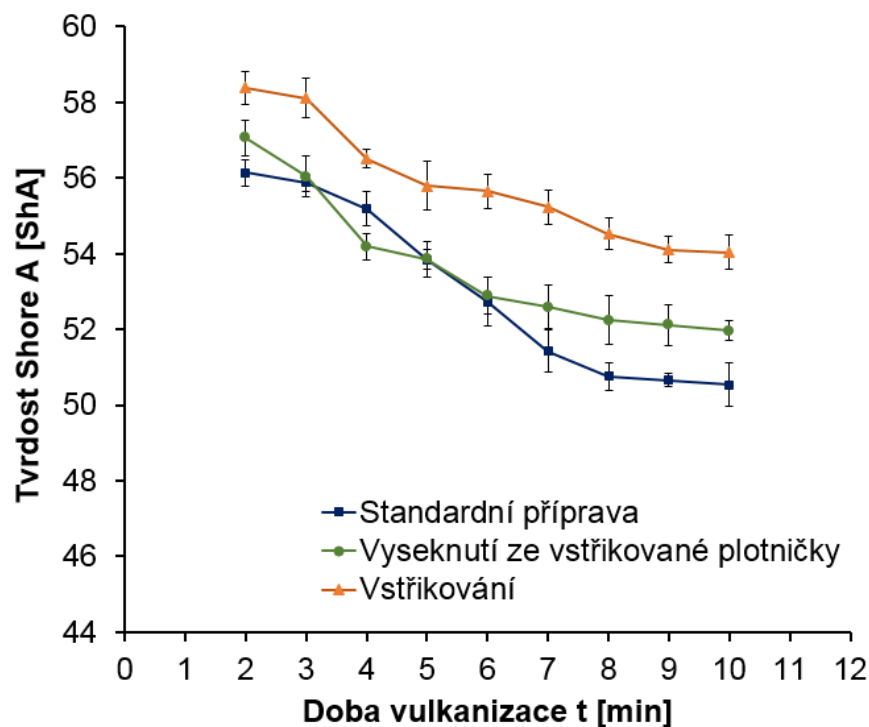
Obr. 4.6 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso crescent (směs NR+BR)



Obr. 4.7 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso trouser (směs NR+BR)

4.1.3 Výsledky zkoušky tvrdosti Shore A

Výsledky tvrdosti Shore A v jednotlivých dobách vulkanizace (Obr. 4.8) vykazují sestupnou tendenci stejně jako v případě meze pevnosti v tahu a modulu pružnosti. Tvrdost je další mechanická vlastnost, která vlivem reverze přírodního kaučuku klesá. Pokles tvrdosti v rozmezí 2 ÷ 10 minut činí bezmála 6 ShA. Zkušební tělesa vyrobená vstříkáním vykazují v optimální době vulkanizace (3 minuty) o 3 ShA vyšší tvrdost oproti tělesům vyrobených standardní metodou, což je s největší pravděpodobností způsobeno predehřevem směsi v plastikační jednotce během vstříkávání. Zkušební tělesa vyrobená vyseknutím ze vstříkované plotničky se tvrdostí od těles vyrobených standardní metodou výrazně neliší.

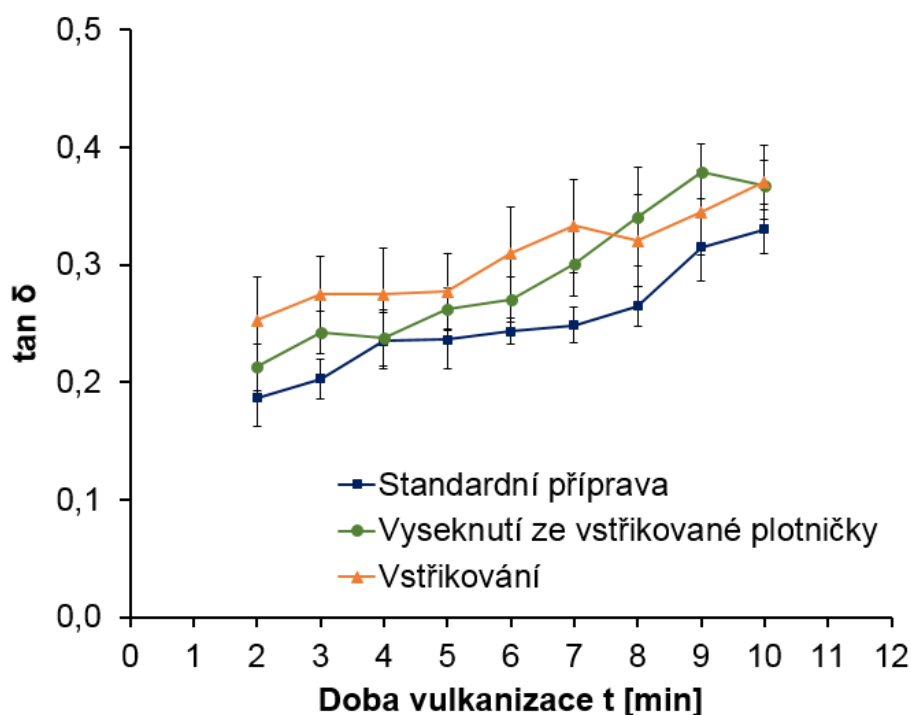


Obr. 4.8 Závislost tvrdosti Shore A na době vulkanizace (směs NR+BR)

4.1.4 Výsledky dynamické mechanické analýzy

Z dynamické mechanické analýzy byl vyhodnocován ztrátový faktor $\tan \delta$ v závislosti na frekvenci, resp. jeho největší zaznamenaná hodnota v rozmezí 10 ÷ 130 Hz. Ztrátový faktor $\tan \delta$ v závislosti na době vulkanizace (Obr. 4.9) u všech metod přípravy zkušebních těles roste, což koresponduje s předchozími uvedenými výsledky. Vlivem reverze přírodního kaučuku, klesá elastický modul pružnosti v tahu E' a v důsledku toho roste hodnota ztrátového faktoru $\tan \delta$. Vlivem „převulkanizování“ dané směsi ztrácí těleso své tlumící vlastnosti.

U této zkoušky došlo vlivem výrobního postupu zkušební tělesa taktéž k jistým změnám. Jednotlivé hodnoty jsou od sebe vzdáleny v rozmezí chyby měření. V optimální době vulkanizace (3 minuty) vzrostl u vstřikovaných těles ztrátový faktor $\tan \delta$ o 35,5 % oproti standardně připraveným tělesům. Z výsledků měření je taktéž patrné, že u těles vyrobených standardním postupem nedocházelo k tak velkému rozptylu naměřených hodnot $\tan \delta$, jako u těles vstřikovaných a těles vyseknutých ze vstřikované plotničky.

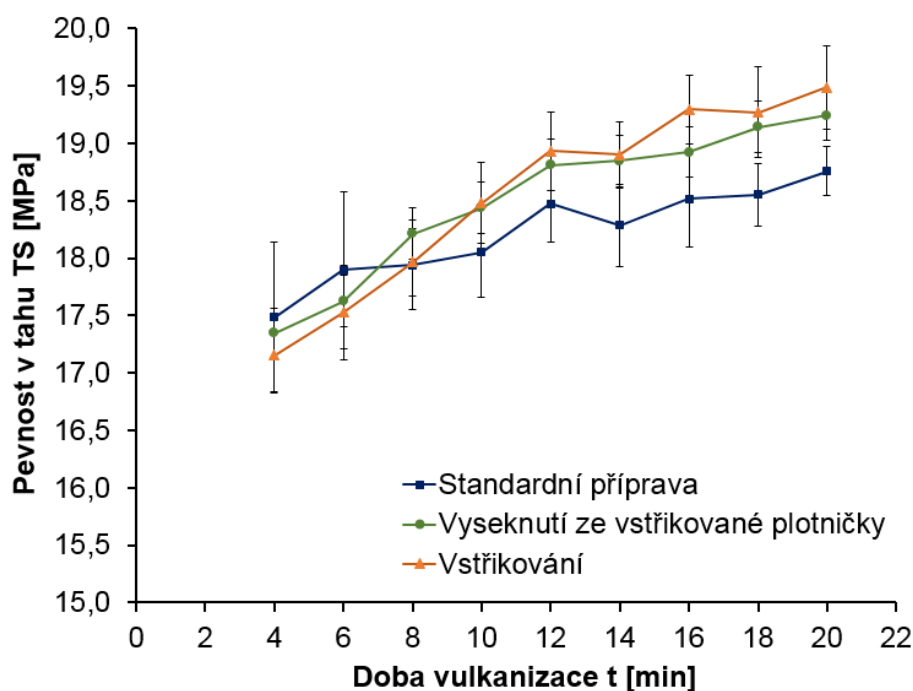


Obr. 4.9 Závislost ztrátového faktoru $\tan \delta$ na době vulkanizace (směs NR+BR)

4.2 Výsledky mechanických zkoušek kaučukové směsi EPDM

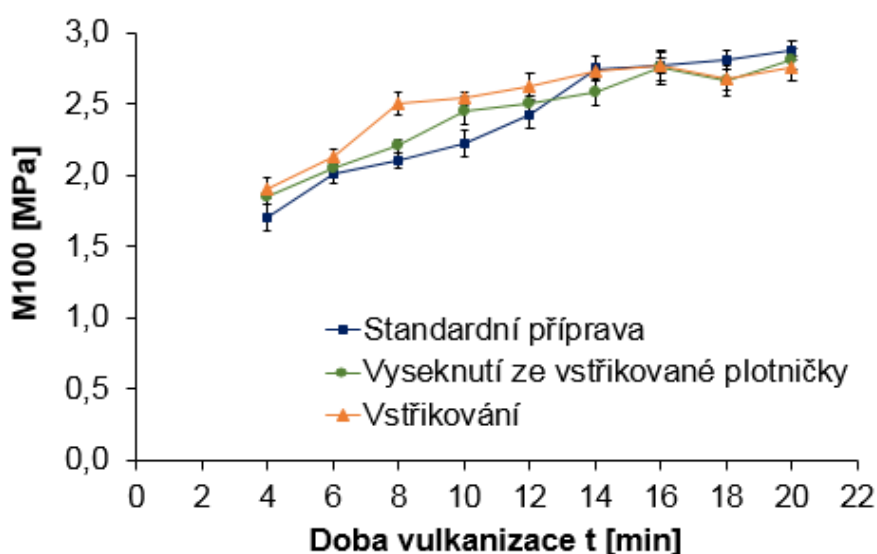
4.2.1 Výsledky tahové zkoušky

Z naměřených dat tahové zkoušky (Obr. 4.10) bylo taktéž zjištěno, že s rostoucí dobou vulkanizace roste napětí potřebné k přetržení zkušební tělesa. Na rozdíl od směsi na bázi přírodního kaučuku, u směsi s kaučukem EPDM nedochází ve sledovaných dobách vulkanizace (4 až 20 minut) k reverzi, a tedy ani k poklesu pevnosti v tahu (Obr. 3.8). Z uvedených výsledků je sice zjevné, že tělesa vyrobená vstřikováním vykazují vyšší pevnost oproti standardně vyrobeným tělesům, ale v optimální době vulkanizace (12 minut) tento rozdíl činí pouhých 2,5 %. Pevnost v tahu těles vyrobených vyseknutím ze vstřikované plotničky kopírují průběh pevnosti v tahu těles vstřikovaných a oproti standardně vyrobeným tělesům je rozdíl téměř zanedbatelný.

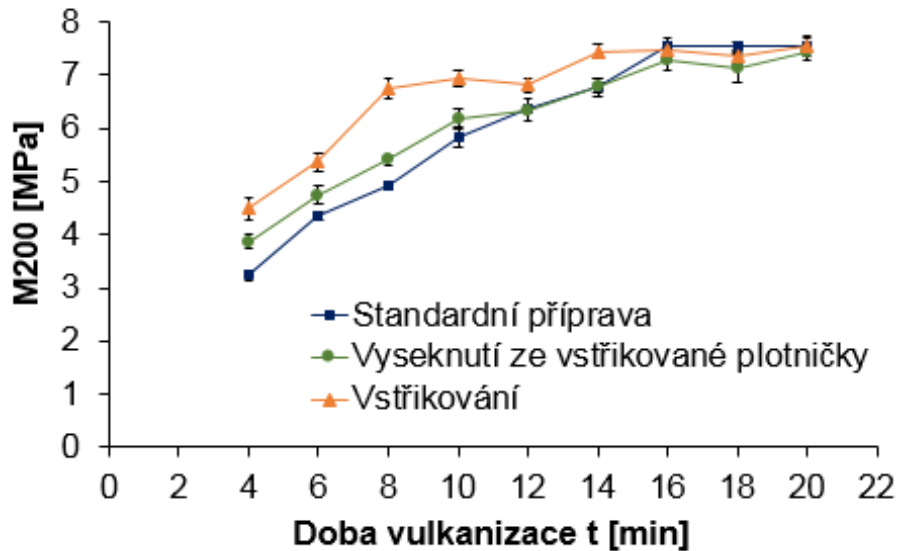


Obr. 4.10 Závislost tahového napětí na době vulkanizace (směs EPDM)

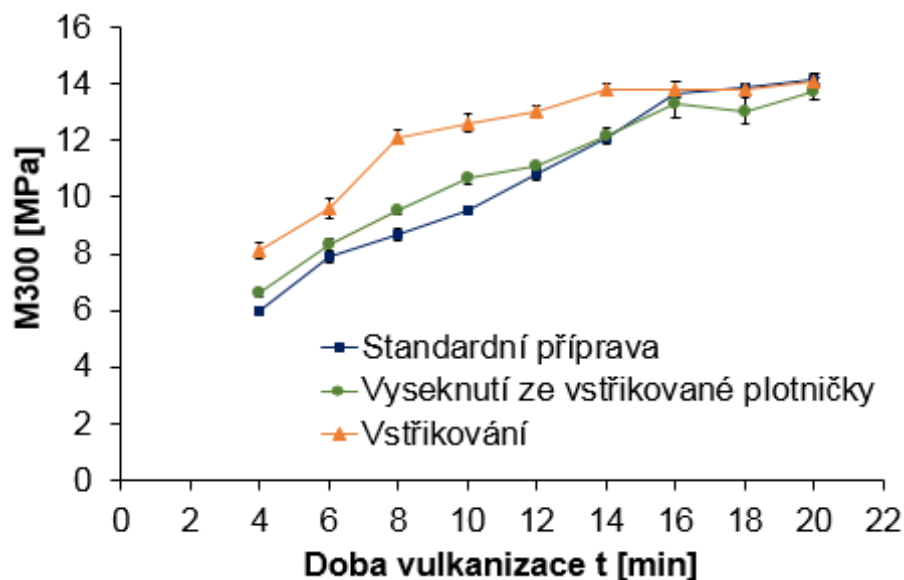
U směsi EPDM byly taktéž sledovány hodnoty jednotlivých modulů pružnosti v tahu při 100%, 200% a 300% prodloužení (Obr. 4.11, Obr. 4.12 a Obr. 4.13). Je patrné, že s rostoucí dobou vulkanizace také rostou jednotlivé moduly. Čím větší prodloužení, tím také dochází k větším rozdílům mezi tělesy vyrobenými jednotlivými metodami přípravy. Hodnota modulu M100 vstřikovaných těles v době 12 minut je o 7,6 % vyšší než hodnota standardně vyrobených těles. V případě modulu M200 rozdíl činí 7,3 % a modulu M300 už 20 % ve prospěch vstřikovaných těles.



Obr. 4.11 Závislost modulu M100 na době vulkanizace (směs EPDM)



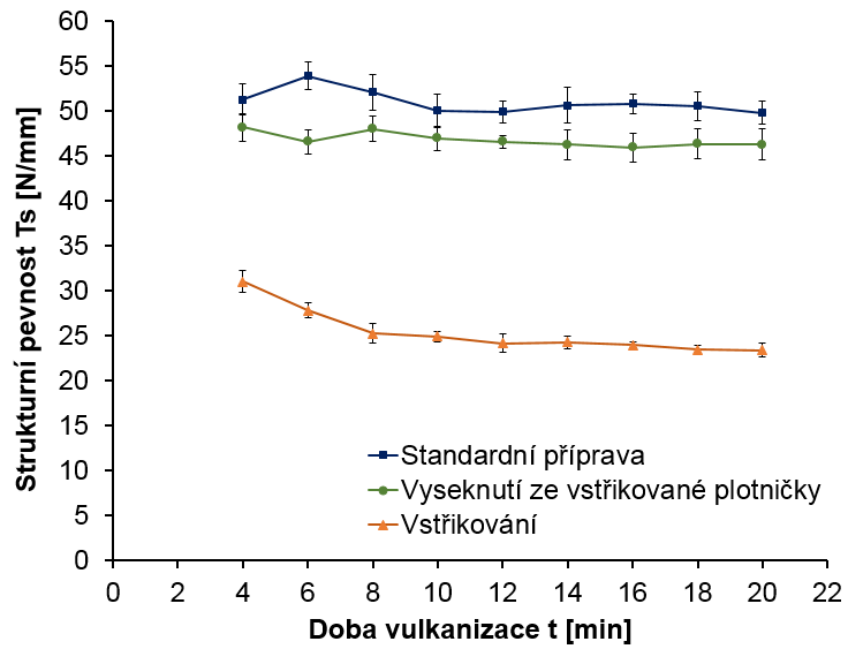
Obr. 4.12 Závislost modulu M_{200} na době vulkanizace (směs EPDM)



Obr. 4.13 Závislost modulu M_{300} na době vulkanizace (směs EPDM)

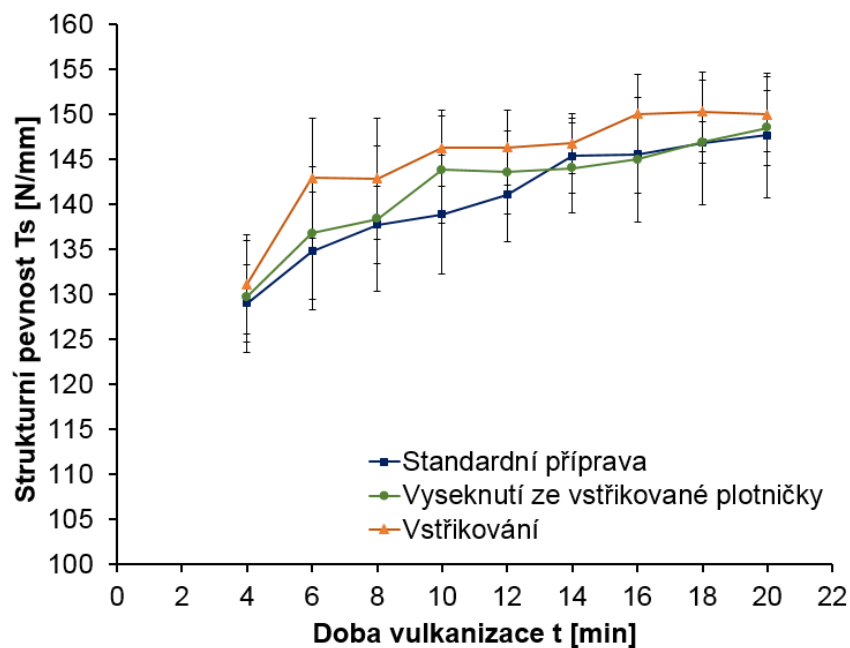
4.2.2 Výsledky zkoušek strukturální pevnosti

Další získaný výsledek (Obr. 4.14) ukazuje závislost strukturální pevnost tělesa graves. Je patrné, že strukturální pevnost měřená na tomto tělese se výrazně s dobou vulkanizace nemění. K výrazným rozdílům však dochází mezi jednotlivými způsoby výroby těles. Vstřikovaná tělesa vykazují o 48 % menší strukturální pevnost než tělesa vyrobená standardní metodou. V případě těles vyseknutých ze vstřikované plotničky je rozdíl 6,5 % ve prospěch standardně vyrobených těles.



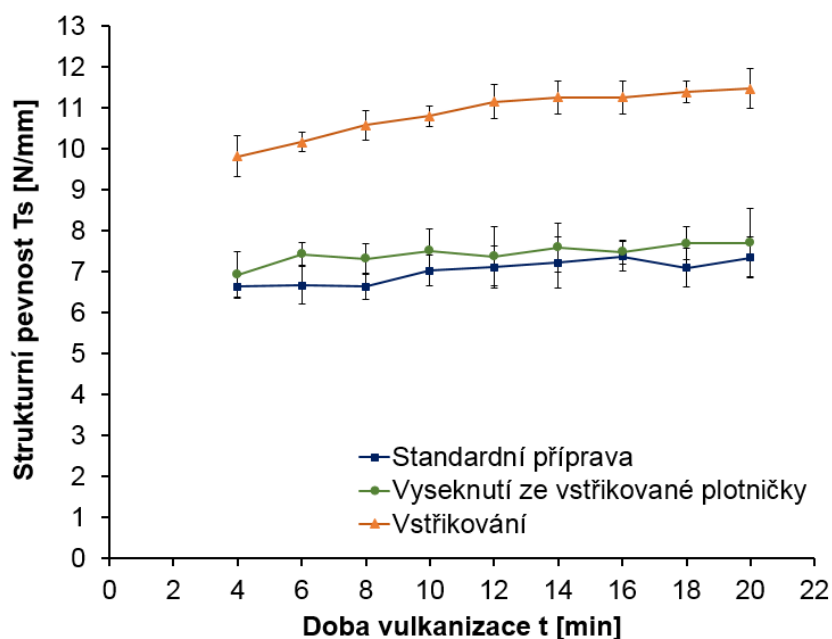
Obr. 4.14 Závislost strukturální pevnosti na době vulkanizace – těleso graves (směs EPDM)

Z výsledků strukturální zkoušky tělesa crescent (Obr. 4.15) vyplývá, že s rostoucí dobou vulkanizace strukturální pevnost také roste, a to u všech výrobních metod. Největší strukturální pevnost vykazují tělesa vyrobená vstřikováním. V době přibližného optima vulkanizace 12 minut mají vstřikovaná tělesa crescent o 3,7 % vyšší strukturální pevnost než tělesa vyrobená standardní metodou. V případě těles vysekávaných ze vstřikované plotničky činí rozdíl pouhých 1,8 %. Vzhledem k výraznější chybě měření, jsou tyto rozdíly spíše zanedbatelné.



Obr. 4.15 Závislost strukturální pevnosti na době vulkanizace – těleso crescent (směs EPDM)

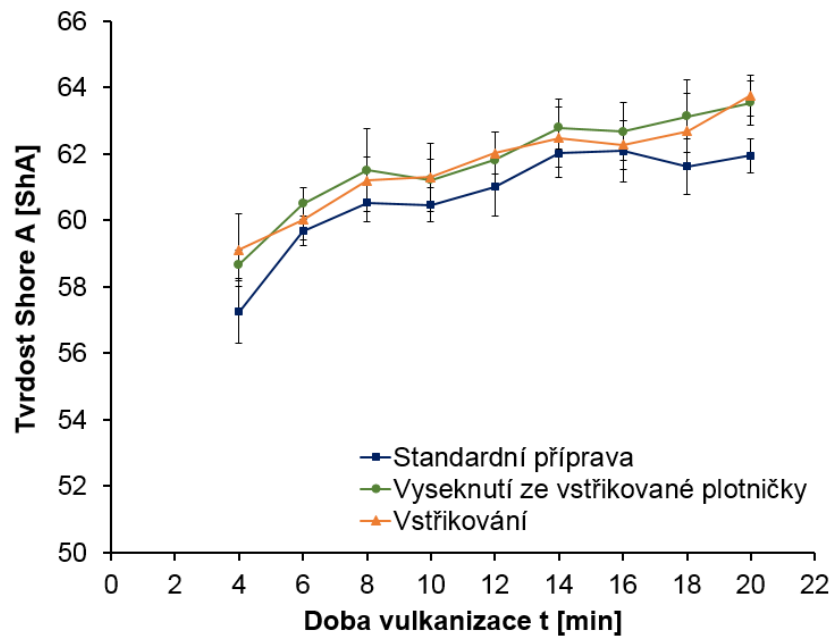
Posledním výsledkem strukturní zkoušky je průběh strukturní pevnosti tělesa trouser (Obr. 4.16). Z výsledků je patrné, že s rostoucí dobou vulkanizace strukturní pevnost mírně roste, zejména u vstřikovaných těles. Z hlediska vlivu výrobního procesu, vstřikovaná tělesa trouser v době 12 minut vykazují až o 55 % vyšší strukturní pevnost než standardně vyrobená tělesa. V případě těles vyseknutých ze vstřikované plotničky už rozdíl není nijak výrazný (3,8 %).



Obr. 4.16 Závislost strukturní pevnosti na době vulkanizace – těleso trouser (směs EPDM)

4.2.3 Výsledky zkoušky tvrdosti Shore A

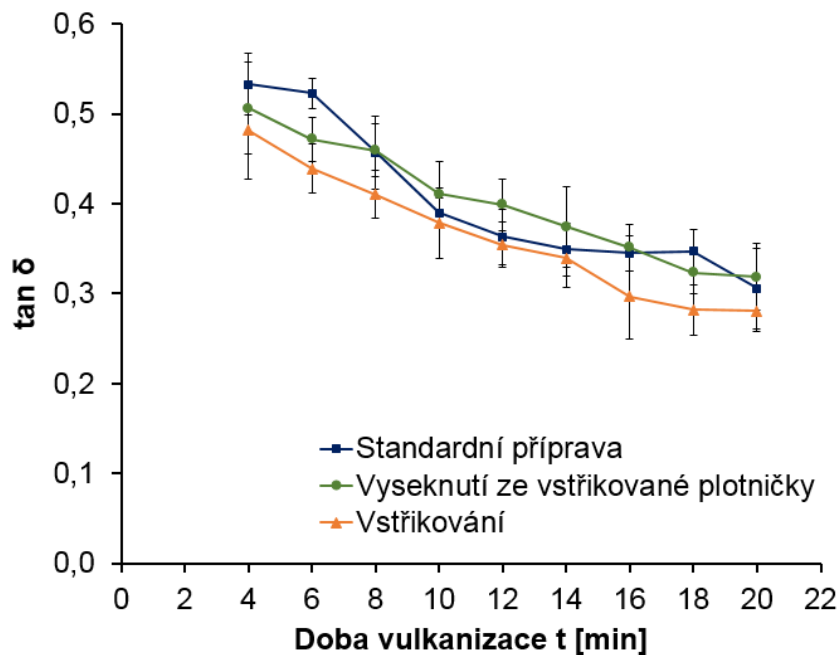
S dobou vulkanizace tvrdost Shore A pozvolna roste (Obr. 4.17). To je dáno zvyšujícím se stupněm zesílení dané kaučukové směsi. Vzrůst tvrdosti u všech těles v rozmezí 4 ÷ 20 minut činí téměř 5 ShA, bez ohledu na výrobní metodu. Vstřikovaná tělesa v době 12 minut vykazují o 1,6 % vyšší tvrdost než tělesa vyrobená standardní metodou, což je téměř zanedbatelný rozdíl. V případě těles vyrobených vyseknutím ze vstřikované plotničky je rozdíl ještě menší (1,3 %). Vliv výrobního procesu na tvrdost Shore A je tedy minimální, vzhledem k chybě měření zanedbatelný.



Obr. 4.17 Závislost tvrdosti Shore A na vulkanizační době (směs EPDM)

4.2.4 Výsledky dynamické mechanické analýzy

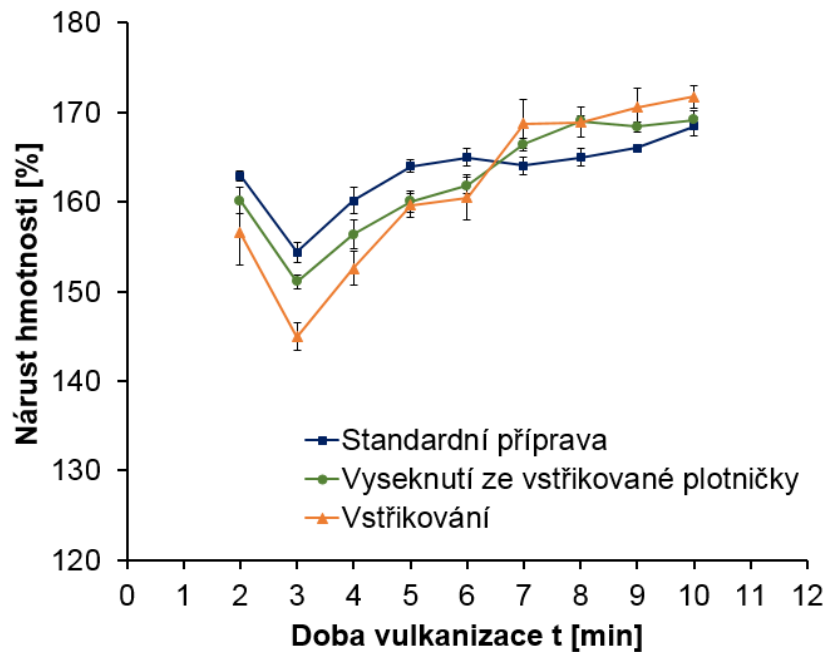
Maximální naměřené hodnoty ztrátového faktoru $\tan \delta$ v rozmezí 10 ÷ 130 Hz s rostoucí dobou vulkanizace klesají (Obr. 4.18), protože roste elastický modul pružnosti E' . Mezi ztrátovým faktorem $\tan \delta$ a elastickým modulem pružnosti E' platí nepřímá úměra vyplývající ze vztahu 1.20. Co se týče vlivu výrobního procesu, vstřikovaná tělesa vykazují v době 12 minut o 2,5 % menší hodnotu $\tan \delta$ než tělesa standardně vyrobená. Tělesa vyseknutá ze vstřikované plotničky mají vůči standardně vyrobeným tělesům o téměř 10 % vyšší $\tan \delta$.



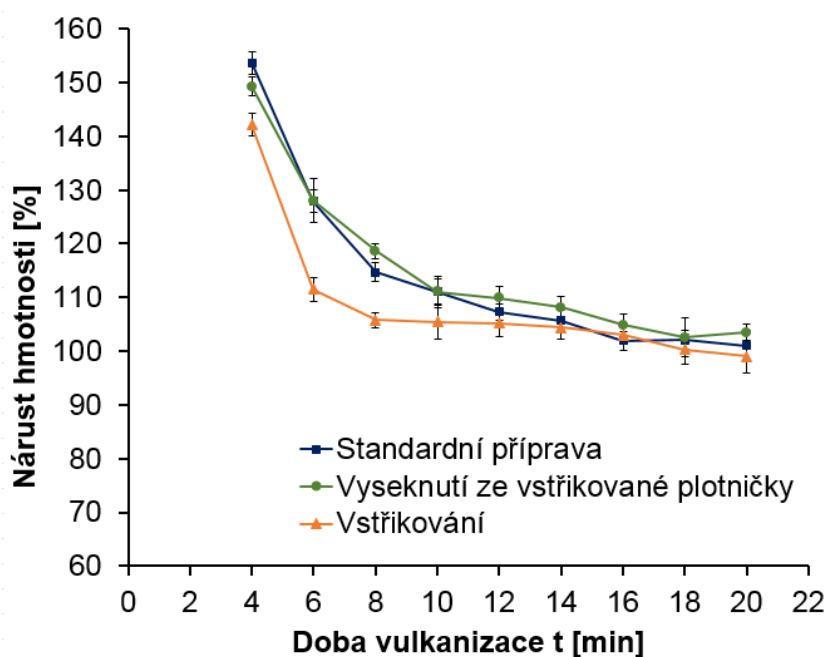
Obr. 4.18 Závislost ztrátového faktoru $\tan \delta$ na době vulkanizace (směs EPDM)

4.3 Výsledky zkoušky zesíťení botnáním

Následující výsledky (Obr. 4.19) ukazují relativní nárůst hmotnosti v závislosti době vulkanizace směsi NR+BR. Doba 3 minut je přibližná doba optima vulkanizace směsi. Do této doby vlivem vznikajících sírných vazeb roste stupeň zesíťení. Nárůst hmotnosti vlivem botnání nebude tak velký, protože, vzniklá prostorová síť brání účinku kapaliny (methylbenzenu). Po překročení doby 3 minut, dochází k reverzi, resp. k pozvolnému rozpadu prostorové sítě. Tím se začne projevovat větší vliv kapaliny, kaučuk více botná a roste tak hmotnost a rozměry.



Obr. 4.19 Nárůst hmotnosti vlivem botnání v závislosti na době vulkanizace (směs NR+BR)



Obr. 4.20 Nárůst hmotnosti vlivem botnění v závislosti na době vulkanizace (směs EPDM)

Stejná závislost pro směs EPDM je uvedena na dalším obrázku (Obr. 4.20). Je patrné, že nárůst hmotnosti v celém rozsahu dob vulkanizace klesá. To je dáno pomalejším průběhem vulkanizace – viz vulkanizační křivka této směsi (Obr. 3.8).

Tento experiment uvedený na závěr má za cíl potvrdit rozdílný stupeň zesítní těles vyrobených standardní metodou a těles vyrobených vstřikováním, resp. vysekáváním ze vstřikované plotničky. Z uvedených výsledků, lze konstatovat, že stupeň zesítní není stejný. V případě směsi NR+BR tělesa vyrobená vstřikováním vykazují větší stupeň zesítní, což vysvětluje vyšší pevnosti v tahu a tvrdost. V případě směsi EPDM vstřikovaná tělesa také mají vyšší stupeň zesítní, ačkoli v době 12 minut, což je pro směs na bázi EPDM přibližné optimum (viz Obr. 3.8) vulkanizace je stupeň zesítní srovnatelný s tělesy vyrobenými standardní metodou.

4.4 Diskuze výsledků

Získané výsledky z vybraných zkoušek, jímž byla vyrobená zkušební tělesa podrobena, ukázaly jisté rozdíly jak v mechanických, tak i v dynamických vlastnostech. Pro přehlednější vyhodnocení je zde uvedena tabulka (Tab. 4.1), která ukazuje nárůst (+), resp. pokles (-) v procentech měřených vlastností těles vstříkovaných a těles vysekávaných ze vstříkované plotničky vztažených k tělesům vyrobených standardním postupem. Tabulka hodnotí veličiny naměřené v době blízké optimu vulkanizace t_{90} (pro směs NR+BR – 3 minuty a pro směs EPDM – 12 minut).

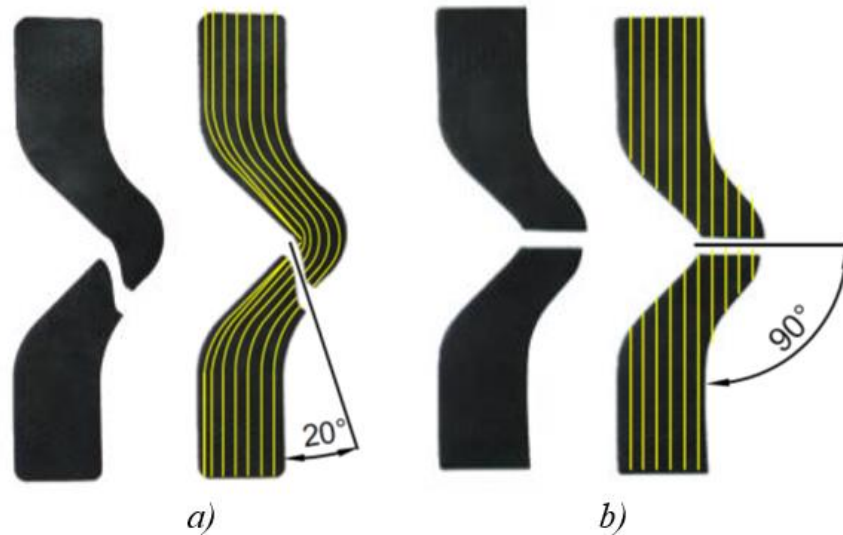
Tab. 4.1 Relativní nárůst (pokles) měřených vlastností k tělesům vyrobeným standardním postupem

Měřená veličina	Směs NR+BR ($t_{90} \approx 3$ minuty)		Směs EPDM ($t_{90} \approx 12$ minut)	
	Vstříkovaná tělesa	Tělesa vysekávaná ze vstříkované plotničky	Vstříkovaná tělesa	Tělesa vysekávaná ze vstříkované plotničky
TS	+12,7 %	+0,4 %	+2,5 %	+1,8 %
M100	+12,6 %	+8 %	+7,6 %	+3,2 %
M200	+11,6 %	+5,9 %	+7,3 %	+0,1 %
M300	+10,9 %	+6,7 %	+20,1 %	+2,3 %
T_{Sg}	-14,4 %	-3,7 %	-48,3 %	-6,5 %
T_{Sc}	+24,4 %	+8,6 %	+3,7 %	+1,8 %
T_{St}	+17,3 %	+11,9 %	+55 %	+3,8 %
ShA	+4,1 %	+0,3 %	+1,6 %	+1,3 %
$\tan \delta$	+35,5 %	+19,2 %	-2,5 %	+9,9 %

Z uvedené tabulky je patrné, že tělesa vyrobená vstříkovaním ve většině měřených vlastnostech vykazují vyšší hodnoty než tělesa vyrobená standardním postupem (vyseknutím z vylisované plotničky). Největší relativní rozdíl ve prospěch vstříkovaných těles je ve strukturní pevnosti tělesa trouser (T_{St}) u směsi EPDM, naopak největší relativní rozdíl v neprospěch vstříkovaných těles je ve strukturní pevnosti tělesa graves (T_{Sg}) opět u směsi EPDM.

Tyto nejvýraznější rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny především odlišným plněním dutiny formy směsí při výrobě tělesa. Při vstříkování dochází k jednostrannému postupnému plnění dutiny směsí a těleso se tak stává ve směru

plnění anizotropní. Při lisování nedochází k tak velkému přeskupení směsi a orientace makromolekul ve struktuře tělesa je převážně dána směrem válcování. V průběhu zkoušky u tělesa graves bylo možné pozorovat rozdílné šíření trhliny (Obr. 4.21). U vstřikovaných těles se trhlina šířila přibližně pod úhlem 20° vůči směru působící tahové síly. Kdežto u lisovaných těles se trhlina šířila kolmo na směr působící tahové síly. V obrázku je také znázorněna odlišná orientaci makromolekul.



Obr. 4.21 Šíření trhliny u tělesa graves

a) vstřikované těleso, b) standardně připravené (lisované) těleso

Již zmíněná odlišná orientace makromolekul ve struktuře může být příčinou velkých rozdílů ve strukturní pevnosti takto zakřivených těles, resp. výrobků z ostrými hranami kolmo na směr plnění při vstřikování.

Naproti tomu se ukázalo, že vstřikování má pozitivní vliv na strukturní pevnost tělesa typu trouser, což je případ, kdy je ostrá hrana ve směru plnění tělesa, resp. výrobku. Co se týče strukturní pevnosti tělesa crescent, vstřikovaná tělesa vykazovala nejvyšší strukturní pevnost z důvodu podobnosti tvaru tělesa tělesu dumbbell. To znamená, že větší část zatěžující síly se spotřebovávala na deformaci tělesa, nikoli na šíření trhliny. Proto také byly u všech výrobních metod těles crescent zaznamenány vyšší hodnoty strukturní pevnosti.

5 PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

S ohledem na stále větší uplatnění technologie vstřikování v gumárenském průmyslu, jsou přínosy této práce spatřovány v následujících bodech:

- Možnost rychlé přípravy zkušebních těles vstřikováním, které dávají obecně vyšší hodnoty mechanických vlastností. To je třeba brát k úvahu při různých způsobech přípravy zkušebních těles.
- Zjištění, že pro testování tahových vlastností a tvrdosti kaučukových směsí na bázi NR, BR a EPDM určených k vstřikování, je možné použít tělesa vyrobená standardním postupem – vyseknutím z vylisované plotničky.
- Zjištění významného vlivu technologie vstřikování na strukturní pevnost graves a trouser.
- Získané výsledky je možné použít k bližšímu popisu chování kaučukových směsí při vstřikování.
- V neposlední řadě je vyrobena funkční vstřikovací forma k testování dalších kaučukových směsí, a to jak z hlediska výzkumného, tak i z hlediska komerčního.

ZÁVĚR

Předložená práce sleduje vliv výrobního procesu na zkušební tělesa využívaná v gumárenském zkušebnictví ve výzkumu i výrobní praxi. Práce se zabývá možností výroby zkušebních těles vstřikováním a má za cíl odhalit možné vlivy této technologie na mechanické vlastnosti vybraných kaučukových směsí určených ke vstřikování. Ukazuje se, že pryžová zkušební tělesa vyrobená vstřikováním vykazují rozdílné mechanické vlastnosti oproti tělesům vyrobeným standardním způsobem – vyseknutím z vylisované plotničky. Pro vzájemné porovnání byl ještě přidán třetí způsob přípravy těles – vyseknutí ze vstřikované plotničky.

Byly sledovány statické i dynamické vlastnosti jednotlivých zkušebních těles v závislosti na době vulkanizace. Jednotlivá rozmezí dob vulkanizace byla stanovena podle vulkanizačních charakteristik zvolených směsí. Pro tento výzkum byly zvoleny dvě různé gumárenské směsi. První směs je na bázi NR a BR. Druhá směs je na bázi syntetického kaučuku EPDM. Obě zvolené kaučukové směsi jsou primárně svým složením určeny ke vstřikování, obsahují sirný vulkanizační systém, avšak mají rozdílnou rychlost vulkanizace. K samotné výrobě zkušebních těles musela být zkonstruována a vyrobena vstřikovací forma s ohledem na vertikální vstřikovací stroj REP V27/Y125.

Výsledky provedených zkoušek ukázaly, že standardní způsob přípravy zkušebních těles je použitelný i pro směsi určené k výrobě vstřikovaných výrobků, avšak takto vyrobená tělesa vykazují nižší hodnoty mechanických vlastností, kromě strukturní pevnosti graves. Výsledky tahové zkoušky a zkoušky tvrdosti ukazují, že vstřikovaná tělesa mají v době optima vulkanizace vyšší pevnost v tahu, modul pružnosti a tvrdost Shore A než standardně vyrobená tělesa. To je s největší pravděpodobností způsobeno vyšším stupněm zesílení, jak lze pozorovat z výsledků poslední zkoušky zesílení vlivem botnání. Tímto se také potvrzuje předpoklad, že díky předeřevu směsi v plastikační jednotce vstřikovacího stroje je stupeň zesílení u vstřikovaných těles ve stejné době vulkanizace vyšší než u těles vyrobených standardním postupem, respektive lisováním.

Dále bylo zjištěno, že způsob plnění má vliv na vnitřní uspořádání makromolekul vulkanizátu, a to i po zesílení. Vstřikovaná tělesa se zářezem kolmo ke směru plnění (graves) vykazují nižší strukturní pevnost (směs NR+BR o 14 % a směs EPDM o 48 %) než tělesa standardně vyrobená. Naopak tělesa se zářezem ve směru plnění (trouser) mají vyšší strukturní pevnost (směs NR+BR o 17% a směs EPDM o 55%) než tělesa standardně vyrobená. To je pravděpodobně způsobeno rozdílnou orientací makromolekul ve struktuře vulkanizátu vlivem plnění při vstřikování. U těles vyrobených vyseknutím ze vstřikované plotničky nebyly zaznamenány tak rapidní rozdíly, což tuto teorii potvrzuje.

V neposlední řadě bylo potvrzeno, že s delší dobou vulkanizace se mechanické vlastnosti zlepšují, avšak jen do určité doby, poté dochází vlivem reverze k zhoršení většiny mechanických vlastností. Tento fakt lze pozorovat u výsledků první směsi s přírodním kaučukem.

Uvedené výsledky a závěry tohoto výzkumu otevírají nové možnosti přípravy zkušebních těles v gumárenství, zejména tam, kde se využívá technologie vstřikování. Bylo zjištěno, že způsob přípravy zkušebních těles vstřikováním je realizovatelný. Pro testování výrobků ze studovaných gumárenských směsí, mají vyšší vypovídající hodnoty než tělesa připravená standardní, dosud používanou metodou.

Ze závěrů této práce se při výrobě pryžových výrobků vstřikováním doporučuje k testování strukturních vlastností použít zkušební tělesa taktéž vyrobená vstřikováním. V případě tahové zkoušky a zkoušky tvrdosti lze použít i tělesa vyrobená vyseknutím ze vstřikované plotničky.

Již zmíněnou problematiku strukturní pevnosti je potřeba dále studovat a hledat nové důkazy, které by teorii o rozdílném vnitřním uspořádání makromolekul vlivem vstřikování potvrdily. V současnosti byla navázána spolupráce s průmyslovou praxí, která také projevila zájem o výsledky a poznatky získané tímto výzkumem.

LITERATURA

- [1] ARRILLAGA, Alex, Ane Miren ZALDUA and Ahmed S. FARID. *Evaluation of injection-molding simulation tools to model the cure kinetics of rubbers*. Journal of Applied Polymer Science. 2012, vol. 123, iss. 3, s. 1437–1454. ISSN 0021-8995.
- [2] DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. *Elastomerní konstrukční materiály*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárneská skupina Zlín, 2009, 93 s. ISBN 978-80-02-02155-1.
- [3] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia I*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.
- [4] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia II*. Vyd. 1. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 370 s. ISBN 808891485x.
- [5] DAVEY, Adolphus Barrington, and Arthur Robert PAYNE. *Rubber in Engineering Practice*. London, Maclaren & sons Ltd., 1996. 501 s.
- [6] ŠPAČEK, Josef. *Technologie gumárenská a plastikářská II*. 2. nezměň. vyd. Brno: VUT, 1987, 200 s.
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk HRDLIČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. 4. přeprac. vyd. Praha: 2009. 200 s. ISBN 80-7080-325-5.
- [8] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie: zpracovatelské procesy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 289 s.
- [9] JOHNSON, Peter S. *Rubber processing: an introduction*. Cincinnati, OH: Hanser, 2001. ISBN 34-462-1578-6.
- [10] FRANTA, Ivan. *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1969.
- [11] BROWN, Roger. *Physical testing of rubber*. 4th ed. New York, NY: Springer, 2006, viii, 387 s. ISBN 0387282866.
- [12] WILCZYNSKI, Ondřej a Richard POSPÍŠIL. *RPA 2000 – universal tool for rubber industry*. Plasty a kaučuk, 2008, vol. 45, iss. 11-12, s. 326-334. ISSN 0322-7340.
- [13] MEISSNER, Bohumil a Václav Zilvar. *Fyzika polymerů*. - Nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s. ISBN 04-634-87.
- [14] LIMPER, Andreas. *Mixing of rubber compounds*. Munich: Hanser Publishers, c2012, xi, 239 s. ISBN 978-3-446-41743-4.
- [15] ARRILLAGA, Alex, Ane Miren ZALDUA, R. M. Atxurra and Ahmed S. FARID. *Techniques used for determining cure kinetics of rubber compounds*, European Polymer Journal. 2007, vol. 43, iss. 11, s. 4783-4799. ISSN 0014-3057.
- [16] ISAYEV, Avraam I., M. WAN. *Injection molding of a natural rubber compound: Simulation and experimental studies*. Rubber Chemistry and Technology. 1998, vol. 71, iss. 5, s. 1059-1072. ISSN 0035-9475.

- [17] BAUMAN, Judson T. *Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2008, 225 s. ISBN 978-3-446-41681-9.
- [18] SOMMER, John G. *Engineered Rubber Products*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2009, 192 s. ISBN 978-3-446-41731-1.
- [19] DUCHÁČEK, Vratislav. *Gumárenské zpracovatelské přísady*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2008, 145 s. ISBN 978-80-02-01993-0.
- [20] MARCÍN, Jiří a Petr ZÍTEK. *Pneumatiky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985. 492 s.
- [21] KUBÍK, Josef a Arnošt ZYTKA. *Zkušební metody v gumárenství*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1962. 297 s. ISBN 04-618-62.
- [22] ČSN ISO 37. *Přez, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Stanovení tahových vlastností*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 32 s. Třídící znak 621436.
- [23] ČSN ISO 34-1. *Přez, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Stanovení strukturní pevnosti – Část 1: Zkušební tělesa typu trouser, angle a crescent*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 15 s. Třídící znak 621459.
- [24] ČSN ISO 7619-1. *Přez, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Stanovení tvrdosti vtlačováním – Část 1: Stanovení tvrdoměrem (tvrdost Shore)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 16 s. Třídící znak 621432.
- [25] ČSN ISO 23529. *Přez – Obecné postupy pro přípravu a kondicionování zkušebních těles pro fyzikální metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 20 s. Třídící znak 621401.
- [26] ČSN ISO 1817. *Přez, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Stanovení účinku kapalin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 32 s. Třídící znak 621510.
- [27] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 1st ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2004, xvi, 286 s. ISBN 34-462-2672-9.
- [28] BEAUMONT, John P, Robert F. NAGEL a Robert SHERMAN. *Successful injection molding: Process, Design, and Simulation*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002, xiii, 362 s. ISBN 1-56990-291-7
- [29] BROWN, Roger. *Physical testing of rubber*. 4th ed. New York, NY: Springer, 2006, viii, 387 s. ISBN 0387282866.
- [30] LABBAN, El Abdulrahman, Pierre MOUSSEAU, Rémi DETERRE, Jean-Luc BAILLEUL and Alain SARDA. *Temperature measurement and control within moulded rubber during vulcanization proces*. Measurement. 2009, vol. 42, iss. 6, s. 916-926, ISSN 0263-2241.

- [31] MACHÁČEK, Leopold. *Struktura a vlastnosti materiálů*. 2. vyd., Brno: VUT, 1987, 250 s. ISBN 55-556-87.
- [32] RÓZSA, Jan, *Dynamické vlastnosti plněného polypropylenu*. Zlín, 1990. 72 s. Diplomová práce na Vysokém učení technickém, Fakultě technologické.
- [33] DEALY, John M. and Kurf F. WISSBRUN. *Melt Rheology and Its Role in Plastics Processing: Theory and Applications*. Van Nostrand Reinhold, 1990. 649 s. ISBN 978-1-4615-9740-7.
- [34] BARTONČÍK, Pavel, *Studium dynamických vlastností orientovaného polypropylenu*. Zlín, 1992. 94 s. Diplomová práce na Vysokém učení technickém, Fakultě technologické.
- [35] MACHÁČEK, Leopold. *Plasty a kaučuk* 1. vyd., Brno: VUT, 1986,
- [36] MALÁČ, Jiří, *Gumárenská technologie*. [on-line]. Zlín 2015.[cit. 3016-04-30]. Dostupné z <http://www.home.karneval.cz/0323339201>.
- [37] CHANDRASEKARAN, Challappa. *Essential Rubber Formulary: Formulas for Practitioners*. 1st Edition, William Andrew Publishing, 2007. 202 s. ISBN 978-0-8155-1539-5.
- [38] DICK, John S. *How to Improve Rubber Compounds: 1800 Experimental Ideas for Problem Solving*. 2nd Edition, Munich: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 420 s. ISBN 978-1-56990-533-3.
- [39] HADERKA, Martin, *Vliv parametrů vulkanizace na mechanické vlastnosti elastomerů*. Zlín, 2006. 68 s. Diplomová práce na Univerzitě Tomáše Bati, Fakultě technologické na Ústavu výrobního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Jakub Javořík.
- [40] SOMMER, John G. *Elastomer molding technology: a comprehensive and unified approach to materials, methods, and mold design for elastomers*. Hudson, OH: Elastech, 2003, vi, 471 s. ISBN 09-723-0910-1.
- [41] GENT, Alan N. *Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components*. 3rd. Edition, Munich: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2012. 451 s. ISBN 978- 3-446-42764-8.
- [42] RŮŽIČKA, Karel a Ladislav POSPÍŠIL. *Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I*. Gottwaldov: VÚGPT, 1979.
- [43] RAGAN, Emil, Juraj RUZBARSKY a Miroslav MANAS. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt*. 1. vyd. Prešov: Fakulta výrobních technológií Technickej univerzity, 2008. 549 s. ISBN 978-80-553-0102-0.
- [44] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999, 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [45] MARK, James E., Burak ERMAN and Mike ROLAND. *Science and technology of rubber*. 4rd ed. Boston: Elsevier Academic Press, 2013, xviii, 743 s. ISBN 978-0-12-394584-6.

- [46] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [47] HORNSBY, Peter. R., Inderjeet SINGH, John R. DALEY and John FIRTH. *Characterization of mold fouling during elastomer injection molding*. Journal of Applied Polymer Science. 2006, vol. 102, iss. 4, s. 3186–3194. ISSN 0021-8995.
- [48] HANULÍK, Radomil. *Speciální technologie: zhotovování pryžových polotovarů a výrobků: učebnice pro třetí ročník oboru Zpracování usní, plastů a pryže - zpracovatelské technologie (plast, pryž)*. 2., upr. a dopl. vyd., Zlín, Impromat Int., 2009. 276 s. ISBN 978-80-254-5677-4.
- [49] DICK, John S. *Basic Rubber Testing: Selecting Methods for a Rubber Test Program*. West Conshohocken, PA: ASTM, c2003, xviii, 236 s. ISBN 0803133588.
- [50] ALGER, Mark S. *Polymer science dictionary*. London: Elsevier Applied Science, 1989, xii, 532 s. ISBN 1-85166-220-0.
- [51] CUNHA, António M. and António J. PONTES. *Non-Conventional Injection Molds*, In: Injection Molding. Musa R. Kamal, Avram I. Isayev and Shih-Jung Liu, Editor(s). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2009, s. 171-194, ISBN 9783446416857.

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Publikace evidované v databázi Web of Science k 30.4.2016

1. MANAS Miroslav, David MANAS, Michal STANEK, Martin OVSIK, Martin REZNICEK, Lenka GAJZLEROVA, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Martin MANAS. Effect of Beta Irradiation on Mechanical Properties of Surface Layer of Injection Moulded High Density Polyethylene (HDPE). *KGK Kautschuk, Gummi, Kunststoffe: international technical journal for polymer materials*. 2015, vol. 68, issue 5, s. 52-56. ISSN 0948-3276.
2. MANAS, David, Miroslav MANAS, Lenka GAJZLEROVA, Martin OVSIK, Petr Kratky, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Michal DANEK, Martin MANAS.. *Radiation Physics and Chemistry*. 2015, vol. 114, s. 25-30. ISSN 0969-806X.
3. KYAS, Kamil, Michal STANEK, David MANAS, **Adam SKROBAK**. Effect of Rheological Parameters on Curing Rate during NBR Injection Molding. *Novel trends in rheology V, Zlín, Czech Republic*, 2013. Melville, N.Y: American Institute of Physics, s. 142-147. ISBN 9780735411517.

Publikace evidované v databázi Scopus k 30.4.2016

1. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, Martin REZNICEK. The Effect of Technology on Micromechanical Properties of Rubber. *Key Engineering Materials*. 2015, vol. 662, s. 261-264. ISSN 1013-9826.
2. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Martin OVSIK. The behaviour of Recycled Material with Particles of Various Sizes of Polyamide 6 to Micro Hardness. *Key Engineering Materials*. 2015, vol. 662, s. 225-228. ISSN 1013-9826.
3. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, Martin REZNICEK. The influence of the production process on mechanical properties of rubber testing samples. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 37-41. ISSN 1022-6680.
4. REZNICEK, Martin, David MANAS, Michal STANEK, Martin OVSIK, Martin BEDNARIK, **Adam SKROBAK**, Ales MIZERA. Creep of Radiation Cross Linked HDPE at Elevated Temperature. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 555-558. ISSN 1022-6680.
5. REZNICEK, Martin, David MANAS, Michal STANEK, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Petr KRATKY. Creep Test Evaluation. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 270-273. ISSN 1022-6680.

6. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Behavior of Recycled Material at Higher Temperature in Compression Test. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 274-277. ISSN 1022-6680.
7. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Jan NAVRATIL, **Adam SKROBAK**. SW and HW optimization of injection molding process. *International Journal of Mechanics*. 2014, vol. 8, issue 1, s. 85-92. ISSN 1998-4448.
8. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Comparison of Mechanical Properties of Different Particle Sizes of recycled Polycarbonate at Higher Temperature. *International Journal of Mechanics*. 2014, vol. 8, issue 1, s. 268-275. ISSN 1998-4448.
9. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, Martin REZNICEK. Mechanical properties of rubber samples. *Key Engineering Materials*. 2014, vol. 606, s. 249-252. ISSN 1013-9826.
10. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Size effect of recycled material to tensile properties of PC. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 278-282. ISSN 1022-6680.
11. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Injection Molding of Rubber Compound Influenced by Injection Mold Surface Roughness. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 283-287. ISSN 1022-6680.
12. OVSIK, Martin, David MANAS, Miroslav MANAS, **Adam SKROBAK**, Petr KRATKY. Ionizing Radiation Effect of HDPE Measured by Nano-hardness. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1025-1026, s. 551-554. ISSN 1022-6680.
13. REZNICEK, Martin, Martin OVSIK, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Michal STANEK, Vojtech SENKERIK. Corelation of Results of Creep and Micro-indentation Creep for PP-copo. *Key Engineering Materials*. 2014, vol. 606, s. 233-236. ISSN 1013-9826.
14. KYAS Kamil, Michal STANEK, **Adam SKROBAK**, Miroslav MANAS, David MANAS, Martin REZNICEK, Vojtech SENKERIK. Influence of Runner Section on Curing Rate During Injection Molding of NBR compound. *International Journal of Mechanics*. 2013, vol. 7 issue 3, s. 242-250. ISSN 1998-4448
15. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, Kamil KYAS, David MANAS, Miroslav MANAS, Marin REZNICEK, Vojtech SENKERIK. Comparison

- of Mechanical Properties of Injection Molded and Compression Molded Rubber Samples. *International Journal of Mechanics*, 2013, vol. 7, issue 4, s. 409-416. ISSN 1998-4448.
16. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Kamil KYAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. How Amount of Talc Influence the Polymer Flow. *International Journal of Mechanics*. 2013, vol. 7 issue 3, s. 277-284. ISSN 1998-4448
 17. NAVRATIL, Jan, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Kamil KYAS, **Adam SKROBAK**, Vojtech SENKERIK. Tensile Toughness of Irradiated HDPE. *International Journal of Mechanics*, 2013, vol. 7, issue 3, s. 327-334. ISSN 1998-4448.
 18. KYAS Kamil, Michal STANEK, Jan NAVRATIL, Miroslav MANAS, David MANAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Rubber Product Properties Influenced by Runners Trajectory. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2013, vol. 7, issue 1, s. 1-8. ISSN 1998-0159.
 19. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Jan NAVRATIL, Kamil KYAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Comparison of Different Rapid Prototyping Methods. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2013, vol. 6, issue 6, s. 550-557. ISSN 1998-0159.
 20. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Gate Location and Cooling System Optimization. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2012, vol. 6, issue 6, s. 558-565. ISSN 1998-0159.
 21. KYAS Kamil, Jakub CERNY, Michal, STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Measuring of Temperature and Pressure in Injection Mold. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2012, vol. 6, issue 6, s. 600-607. ISSN 1998-0159.
 22. STANEK Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, KYAS Kamil, SENKERIK, Jan NAVRATIL, **Adam SKROBAK**. Polymer Fluidity Influenced by the Percentage of Filler. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2012, vol. 6, issue 6, s. 542-549. ISSN 1998-0159.
 23. STANEK Michal, Miroslav MANAS, David MANAS, Vladimír PATA, Stepan SANDA, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. How the Filler Influence the Fluidity of Polymer. *Chemické Listy*. 2011, vol. 105, issue 15, s. 303-305. ISSN 0009-2770.

24. STANEK Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Martin OVSIK, **Adam SKROBAK**, Martin KRUMAL. Thermal Effects on Metals at Plasma Cutting. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. 2011, s. 159-160. ISSN 1726-9679.
25. KYAS Kamil, STANEK Michal, Miroslav MANAS, David MANAS, Jakub CERNY, **Adam SKROBAK**. Non-contact Method of Part Surface Scanning. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. 2011, s. 735-736. ISSN 1726-9679.
26. KYAS Kamil, STANEK Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, **Adam SKROBAK**, Martin KRUMAL. Thermal Effects on Steels at Flame Cutting. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. 2011, s. 737-738. ISSN 1726-9679.

Ostatní publikace k 30.4.2016

1. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Vojtech SENKERIK, Kamil KYAS. Influence of Production Process on Mechanical Properties of Rubber Samples. *Chemické Listy*. 2013, vol. 107, s. 178-180. ISSN 0009-2770.

Mezinárodní konference

1. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, Martin REZNICEK. Mechanical Properties of Injection Molded Rubber Testing Samples. *Applied Mechanics and Materials*. 2015, vol. 752-753, s. 308-311. ISSN 1662-7482. ISBN 978-3-03835-442-0
2. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Martin OVSIK, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Injection Molding of Rubber Compound Influenced by Injection Mold Surface Roughness. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 103-106, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
3. KYAS Kamil, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL, Vojtech SENKERIK. Effect of Index of non-Newtonian Behavior of Rubber Compound on Curing Rate. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain,

- ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 107-110, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
4. NAVRATIL, Jan, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Kamil KYAS, **Adam SKROBAK**, Vojtech SENKERIK. Recycling of Irradiated HDPE – Influence on Impact Toughness. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 111-114, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
 5. NAVRATIL, Jan, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Kamil KYAS, **Adam SKROBAK**, Vojtech SENKERIK. Tensile Behavior of Recycled Irradiated HDPE. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 115-118, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
 6. SENKERIK, Vojtech, Michal, STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL, Kamil KYAS. Effect of preparation of recycled material to mechanical properties of PC. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 154-158, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
 7. REZNICEK Martin, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Kamil KYAS, Vladimir PATA, David MANAS, Michal STANEK. Device for Measuring Creep at Higher Temperatures. *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications – Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information and of the 13th International Conference on Applied Informatics and Communications*. 6 – 8th August 2013, Valencia, Spain, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-316-2, Zak, A. and Slaby, A. (Ed.), s. 159-163, Published by WSEAS Press, Valencia, Spain, EU, 2013.
 8. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Kamil KYAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Polymer Fluidity Influence by Amount of Talc. *In Recent Advances in Systems Science Proceedings of the 17th International Conference on Systems (part*

- of CSCC'13*). 16 – 19th July 2013, Rhodes Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-314-8. Zak, A., Mladenov, V., Yordanova, S., Tashev, T. (Ed.), s. 181-185, Published by WSEAS Press, Rhodes Island, Greece, EU, 2013.
9. NAVRATIL, Jan, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Kamil KYAS, **Adam SKROBAK**, Vojtech SENKERIK. Recycling of Irradiated HDPE – Influence on Tensile Toughness. *In Recent Advances in Systems Science Proceedings of the 17th International Conference on Systems (part of CSCC'13)*. 16 – 19th July 2013, Rhodes Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-314-8. Zak, A., Mladenov, V., Yordanova, S., Tashev, T. (Ed.), s. 186-190, Published by WSEAS Press, Rhodes Island, Greece, EU, 2013
 10. **SKROBAK, Adam**, Michal STANEK, David MANAS, Miroslav MANAS, Kamil KYAS, Martin REZNICEK, Vojtech SENKERIK. Mechanical Properties of Injection Molded and Compression Molded Rubber Samples. *In Recent Advances in Systems Science Proceedings of the 17th International Conference on Systems (part of CSCC'13)*. 16 – 19th July 2013, Rhodes Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-314-8. Zak, A., Mladenov, V., Yordanova, S., Tashev, T. (Ed.), s. 217-220, Published by WSEAS Press, Rhodes Island, Greece, EU, 2013.
 11. KYAS, Kamil, Michal STANEK, **Adam SKROBAK**, Miroslav MANAS, David MANAS, Martin REZNICEK, Vojtech SENKERIK. Effect of Type of Runner on Curing Rate during Injection Molding of Rubber Compound. *In Recent Advances in Systems Science Proceedings of the 17th International Conference on Systems (part of CSCC'13)*. 16 – 19th July 2013, Rhodes Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-314-8. Zak, A., Mladenov, V., Yordanova, S., Tashev, T. (Ed.), s. 221-225, Published by WSEAS Press, Rhodes Island, Greece, EU, 2013
 12. SENKERIK, Vojtech, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL, Martin REZNICEK. Influence of Temperature and Amount of Recycled Material to PC Properties. *In Recent Advances in Systems Science Proceedings of the 17th International Conference on Systems (part of CSCC'13)*. 16 – 19th July 2013, Rhodes Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-314-8. Zak, A., Mladenov, V., Yordanova, S., Tashev, T. (Ed.), s. 235-238, Published by WSEAS Press, Rhodes Island, Greece, EU, 2013.
 13. KYAS, Kamil, Michal STANEK, Jan NAVRATIL, Miroslav MANAS, David MANAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Influence of Runners Trajectory on Rubber Product Properties. *Recent Researches in Circuits and Systems – Pro-ceedings of the 16th WSEAS International Conference on Circuits/Systems*. 14 – 17th July 2012, Kos Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-1-61804-108-1, Balas, V. and Koksall, M.

- (Ed.), s. 317-320, Published by WSEAS Press, Kos Island, Greece, EU, 2012.
14. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Kamil KYAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Fluidity of Polymer Influenced by the Amount of Filler. *Recent Researches in Circuits and Systems – Pro-ceedings of the 16th WSEAS International Conference on Circuits/Systems*. 14 – 17th July 2012, Kos Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-1-61804-108-1, Balas, V. and Koksál, M. (Ed.), s. 264-268, Published by WSEAS Press, Kos Island, Greece, EU, 2012.
 15. SENKERIK, Vojtech, Michal STANEK, Miroslav MANAS, **Adam SKROBAK**, Jan NAVRATIL. Optimalization of Gate Location and Cooling System. *Recent Researches in Circuits and Systems – Pro-ceedings of the 16th WSEAS International Conference on Circuits/Systems*. 14 – 17th July 2012, Kos Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-1-61804-108-1, Balas, V. and Koksál, M. (Ed.), s. 294-297, Published by WSEAS Press, Kos Island, Greece, EU, 2012.
 16. KYAS, Kamil, Jakub CERNY, Michal STANEK, Miroslav MANAS, David MANAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Utilization of Temperature and Pressure Sensors in Injection Mold. *Recent Researches in Circuits and Systems – Pro-ceedings of the 16th WSEAS International Conference on Circuits/Systems*. 14 – 17th July 2012, Kos Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-1-61804-108-1, Balas, V. and Koksál, M. (Ed.), s. 307-310, Published by WSEAS Press, Kos Island, Greece, EU, 2012.
 17. STANEK, Michal, David MANAS, Miroslav MANAS, Jan NAVRATIL, Kamil KYAS, Vojtech SENKERIK, **Adam SKROBAK**. Rapid Prototyping Methods Comparison. *Recent Researches in Circuits and Systems – Pro-ceedings of the 16th WSEAS International Conference on Circuits/Systems*. 14 – 17th July 2012, Kos Island, Greece, ISSN 1790-5117, ISBN 978-1-61804-108-1, Balas, V. and Koksál, M. (Ed.), s. 269-272, Published by WSEAS Press, Kos Island, Greece, EU, 2012.

CV AUTORA

Osobní údaje

Jméno a příjmení, titul: **Adam Škrobák, Ing.**
Datum a místo narození: 9. listopadu 1985, Vsetín
Bydliště: Ohýřov 499, Vsetín 755 01
Telefon: +420 608 557 929
E-mail: skrobak@ft.utb.cz
Státní příslušnost: Česká republika

Školní vzdělání

9/2010 – dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
doktorský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Nástroje a procesy

9/2008 – 6/2010 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
magisterský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Výrobní inženýrství

9/2005 – 6/2008 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
bakalářský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Technologická zařízení

9/2001 – 6/2005 Střední průmyslová škola strojnická, Vsetín
obor: Strojírenství
zaměření: Výpočetní technika

Pracovní zkušenosti

9/2014 – dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická,
Ústav výrobního inženýrství
pozice: asistent

1/2011 – 8/2014 AION CS, Ltd.
pozice: asistent programátora

Pedagogická činnost

Inženýrská grafika,
Aplikovaná mechanika,
Technické kreslení I, II
Základy konstruování a části strojů I, II
Počítačová podpora konstrukce I, II

Znalosti jazykové

Čeština – mateřský jazyk
Anglicky – středně pokročilý

Znalosti softwarové

MS Office, Catia V5, Solid Edge, SolidWorks,
Autodesk Inventor, Autocad, Autodesk
Simulation Moldflow Synergy, Cadmould 3D-F,
NX 8, Minitab, Photoshop.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A. Pevnost v tahu, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha B. Pevnost v tahu, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha C. Pevnost v tahu, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha D. Modul pružnosti v tahu M100, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha E. Modul pružnosti v tahu M100, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha F. Modul pružnosti v tahu M100, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha G. Modul pružnosti v tahu M200, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha H. Modul pružnosti v tahu M200, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha I. Modul pružnosti v tahu M200, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha J. Modul pružnosti v tahu M300, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha K. Modul pružnosti v tahu M300, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha L. Modul pružnosti v tahu M300, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha M. Strukturální pevnost, těleso graves, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha N. Strukturální pevnost, těleso graves, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha O. Strukturální pevnost, těleso graves, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha P. Strukturální pevnost, těleso crescent, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha Q. Strukturální pevnost, těleso crescent, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha R. Strukturální pevnost, těleso crescent, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha S. Strukturální pevnost, těleso trouser, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha T. Strukturální pevnost, těleso trouser, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha U. Strukturální pevnost, těleso trouser, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha V. Tvrdost Shore A, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha W. Tvrdosti Shore A, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha X. Tvrdost Shore A, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha Y. Ztrátový faktor $\tan \delta$, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha Z. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha AA. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR

- Příloha BB. Nárůst hmotnosti botnáním, standardní příprava, směs NR+BR
- Příloha CC. Nárůst hmotnosti botnáním, vstřikování, směs NR+BR
- Příloha DD. Nárůst hmotnosti botnáním, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR
- Příloha EE. Pevnost v tahu, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha FF. Pevnost v tahu, vstřikování, směs EPDM
- Příloha GG. Pevnost v tahu, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha HH. Modul pružnosti v tahu M100, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha II. Modul pružnosti v tahu M100, vstřikování, směs EPDM
- Příloha JJ. Modul pružnosti v tahu M100, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha KK. Modul pružnosti v tahu M200, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha LL. Modul pružnosti v tahu M200, vstřikování, směs EPDM
- Příloha MM. Modul pružnosti v tahu M200, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha NN. Modul pružnosti v tahu M300, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha OO. Modul pružnosti v tahu M300, vstřikování, směs EPDM
- Příloha PP. Modul pružnosti v tahu M300, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha QQ. Strukturální pevnost, těleso graves, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha RR. Strukturální pevnost, těleso graves, vstřikování, směs EPDM
- Příloha SS. Strukturální pevnost, těleso graves, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha TT. Strukturální pevnost, těleso crescent, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha UU. Strukturální pevnost, těleso crescent, vstřikování, směs EPDM
- Příloha VV. Strukturální pevnost, těleso crescent, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha WW. Strukturální pevnost, těleso trouser, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha XX. Strukturální pevnost, těleso trouser, vstřikování, směs EPDM
- Příloha YY. Strukturální pevnost, těleso trouser, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha ZZ. Tvrdosti Shore A, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha AAA. Tvrdosti Shore A, vstřikování, směs EPDM
- Příloha BBB. Tvrdosti Shore A, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM
- Příloha CCC. Ztrátový faktor $\tan \delta$, standardní příprava, směs EPDM
- Příloha DDD. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vstřikování, směs EPDM

Příloha EEE. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs EPDM

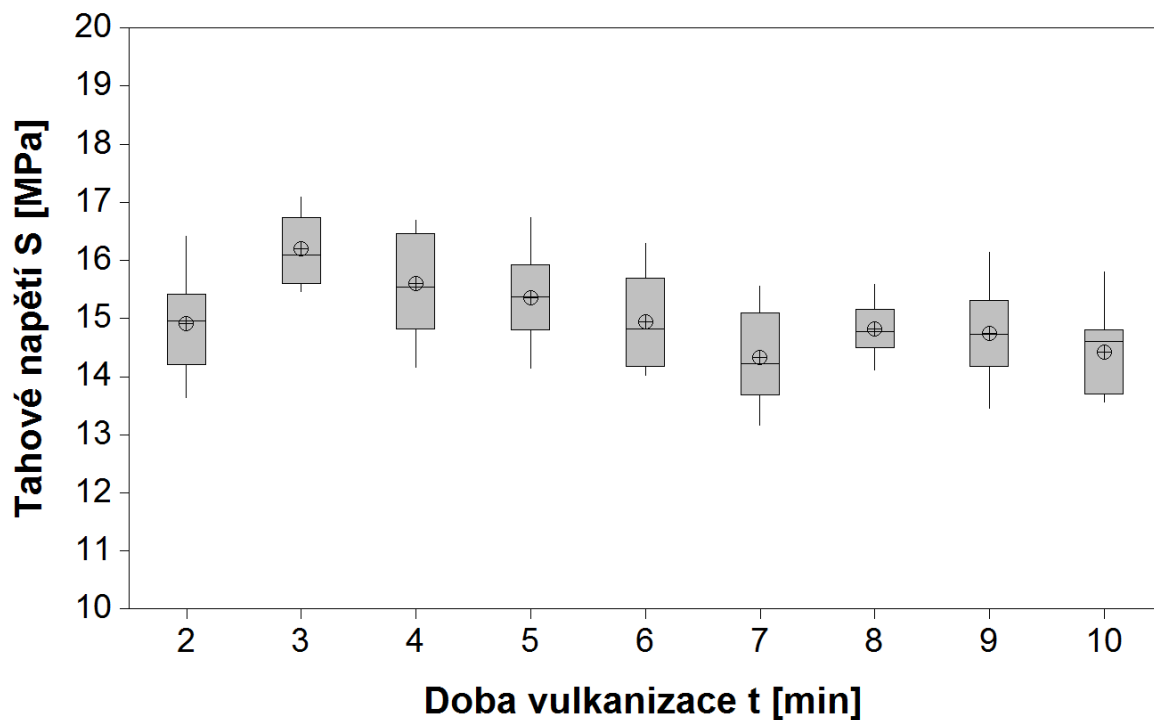
Příloha FFF. Nárůst hmotnosti botnáním, standardní příprava, směs EPDM

Příloha GGG. Nárůst hmotnosti botnáním, vstříkování, směs EPDM

Příloha HHH. Nárůst hmotnosti botnáním, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs EPDM

Příloha A. Pevnost v tahu, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

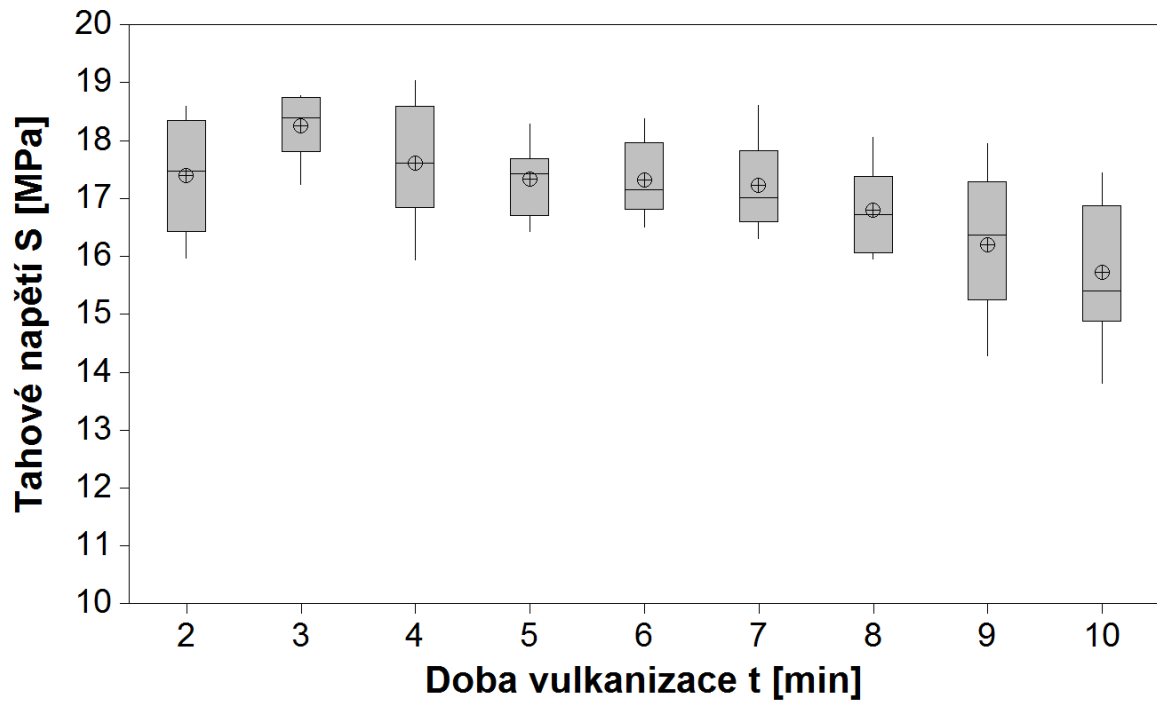


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	14,910	0,812	14,954	0,257	5,44	2,786
3		16,202	0,590	16,093	0,187	3,64	1,634
4		15,600	0,875	15,538	0,277	5,61	2,530
5		15,354	0,749	15,368	0,237	4,88	2,583
6		14,942	0,793	14,814	0,251	5,31	2,270
7		14,329	0,804	14,215	0,254	5,61	2,391
8		14,821	0,453	14,775	0,143	3,06	1,474
9		14,736	0,819	14,731	0,259	5,56	2,681
10		14,418	0,700	14,603	0,221	4,85	2,252

Příloha B. Pevnost v tahu, vstřikování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

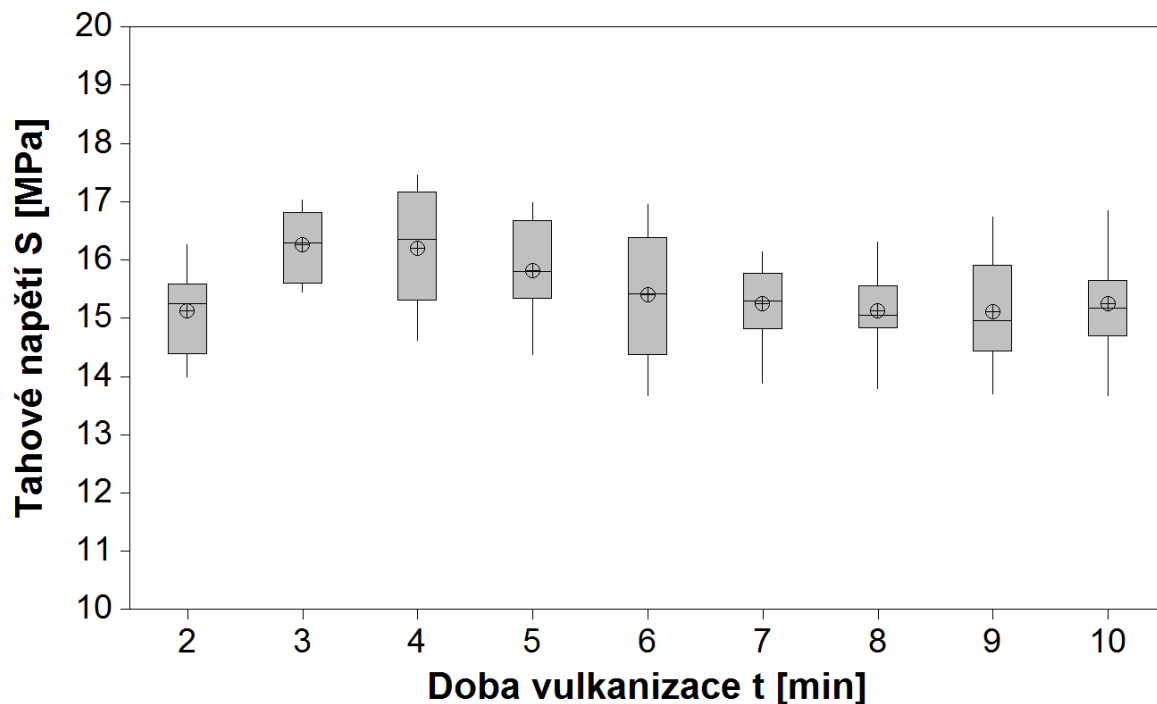


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	17,397	0,985	17,475	0,311	5,66	2,625
3		18,258	0,525	18,388	0,166	2,87	1,537
4		17,610	0,988	17,601	0,313	5,61	3,107
5		17,325	0,622	17,428	0,197	3,59	1,863
6		17,322	0,678	17,153	0,214	3,91	1,866
7		17,222	0,825	17,007	0,261	4,79	2,292
8		16,790	0,736	16,722	0,233	4,38	2,104
9		16,193	1,178	16,361	0,373	7,28	3,671
10		15,727	1,253	15,400	0,396	7,97	3,642

Příloha C. Pevnost v tahu, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

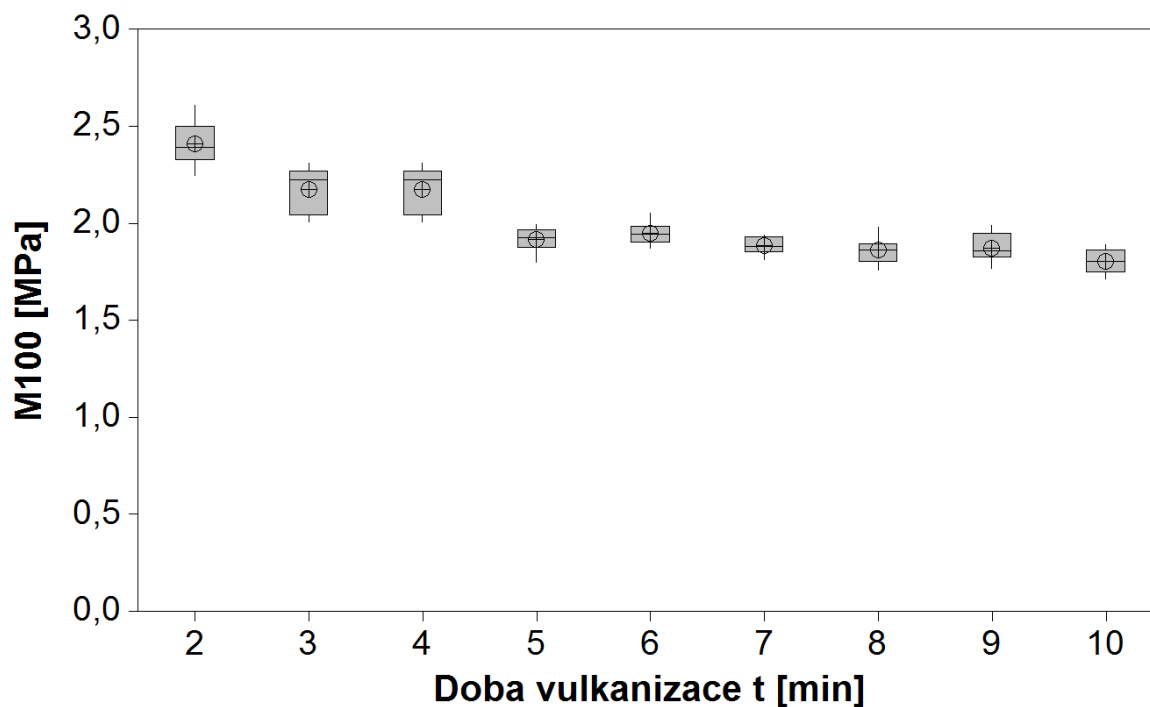


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	15,121	0,748	15,250	0,237	4,95	2,276
3		16,261	0,590	16,289	0,186	3,63	1,579
4		16,194	0,993	16,344	0,314	6,13	2,829
5		15,813	0,833	15,791	0,263	5,27	2,615
6		15,400	1,127	15,411	0,356	7,32	3,286
7		15,239	0,671	15,287	0,212	4,41	2,261
8		15,118	0,664	15,040	0,210	4,39	2,517
9		15,109	0,948	14,953	0,300	6,27	3,029
10		15,239	0,865	15,163	0,274	5,68	3,175

Příloha D. Modul pružnosti v tahu M100, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

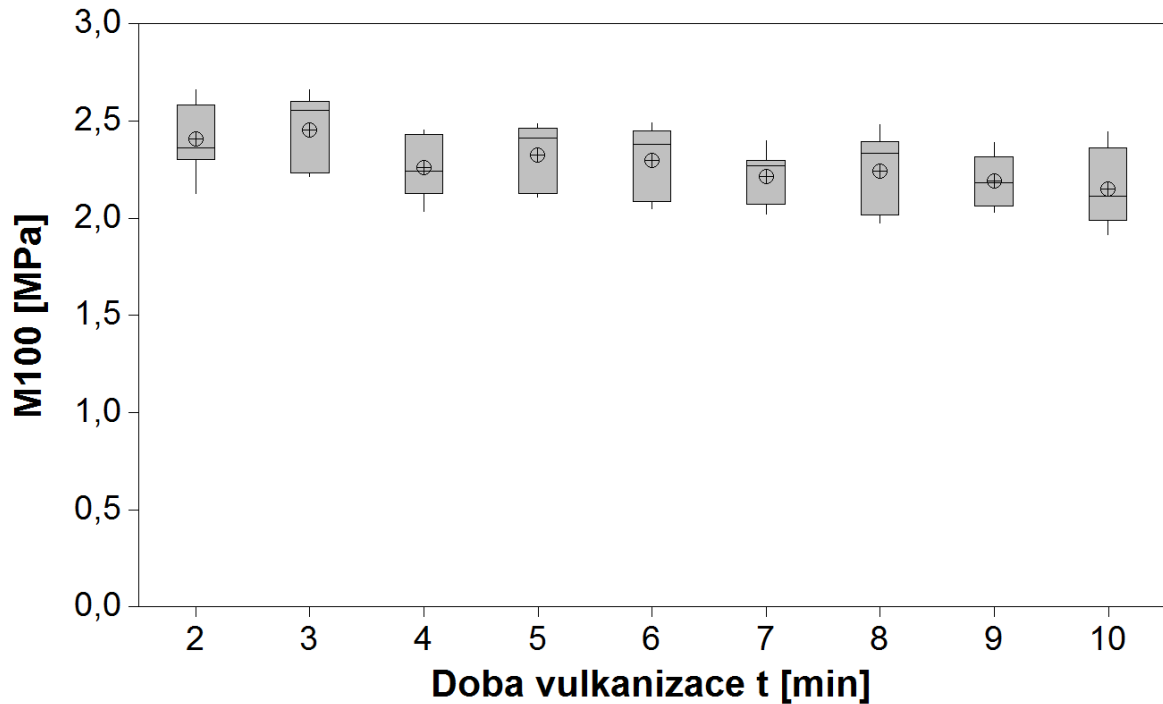


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	2,410	0,108	2,394	0,031	4,50	0,365
3		2,178	0,113	2,227	0,033	5,20	0,305
4		2,178	0,113	2,227	0,033	5,20	0,305
5		1,918	0,058	1,927	0,017	3,03	0,196
6		1,952	0,053	1,945	0,015	2,72	0,182
7		1,886	0,042	1,884	0,012	2,21	0,123
8		1,864	0,068	1,866	0,020	3,65	0,221
9		1,875	0,074	1,861	0,021	3,95	0,223
10		1,805	0,063	1,808	0,018	3,50	0,178

Příloha E. Modul pružnosti v tahu M100, vstříkování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

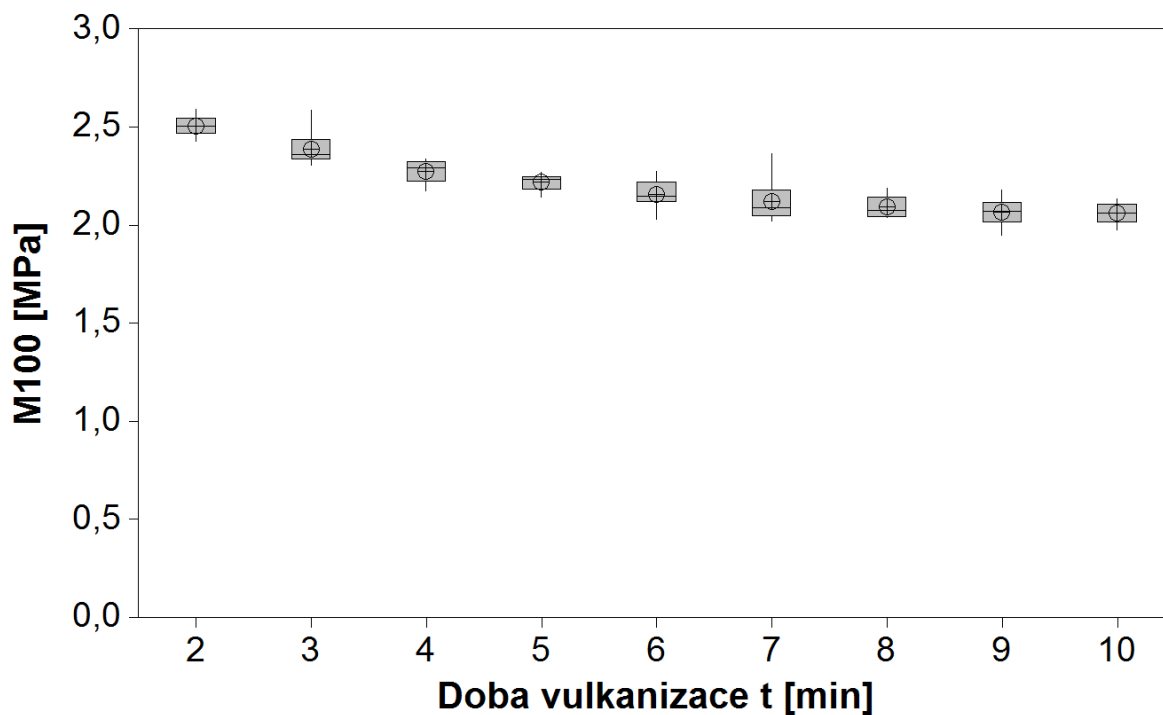


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	2,406	0,177	2,360	0,056	7,37	0,534
3		2,453	0,191	2,552	0,068	7,78	0,447
4		2,259	0,164	2,243	0,058	7,26	0,417
5		2,325	0,164	2,411	0,058	7,06	0,378
6		2,297	0,182	2,378	0,064	7,93	0,443
7		2,213	0,135	2,268	0,048	6,08	0,376
8		2,243	0,201	2,333	0,071	8,96	0,503
9		2,191	0,145	2,181	0,051	6,61	0,360
10		2,150	0,194	2,111	0,069	9,01	0,526

Příloha F. Modul pružnosti v tahu M100, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

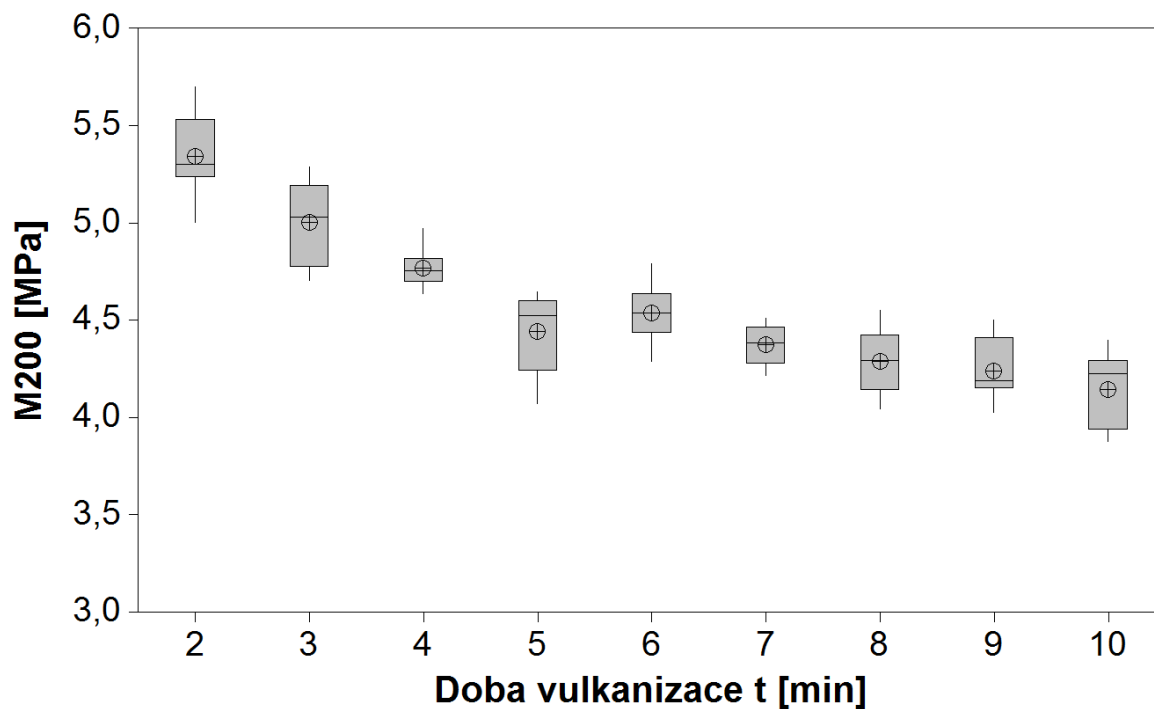


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	2,505	0,052	2,506	0,015	2,06	0,163
3		2,390	0,081	2,364	0,024	3,40	0,281
4		2,276	0,054	2,293	0,016	2,38	0,165
5		2,222	0,040	2,234	0,011	1,78	0,128
6		2,159	0,068	2,151	0,020	3,13	0,245
7		2,124	0,100	2,092	0,029	4,69	0,342
8		2,094	0,052	2,079	0,015	2,46	0,151
9		2,069	0,077	2,071	0,022	3,71	0,231
10		2,061	0,052	2,062	0,015	2,51	0,161

Příloha G. Modul pružnosti v tahu M200, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

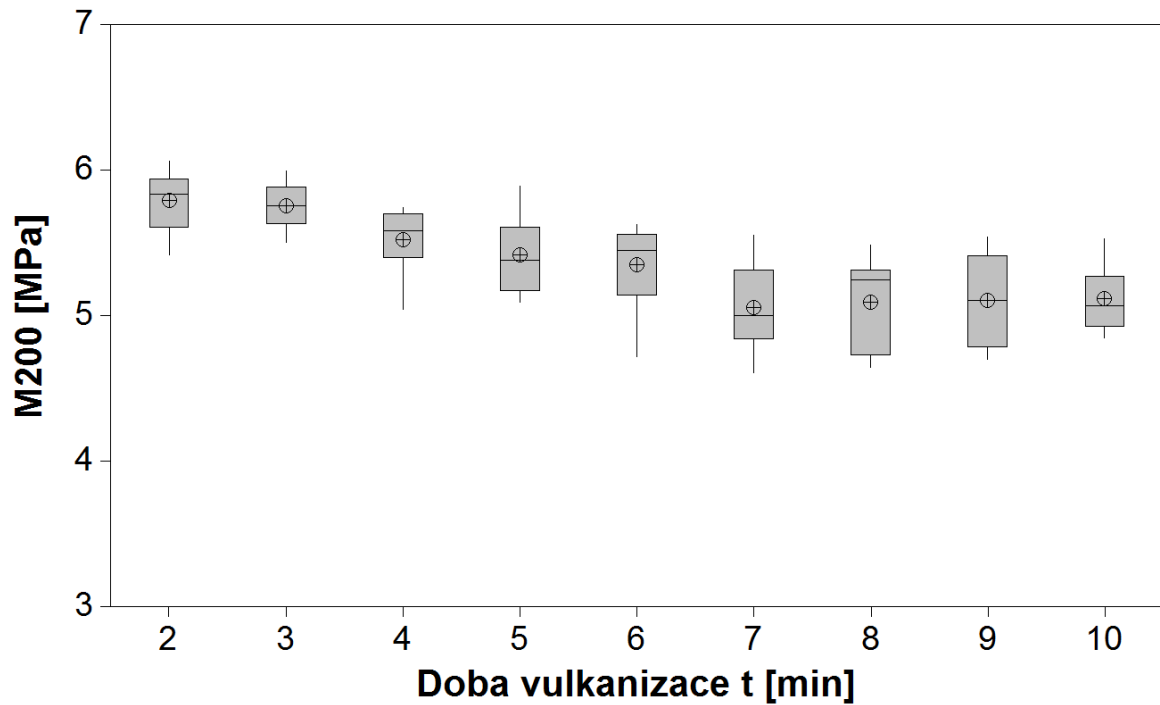


Tabulka naměřených dat

Doba vulk. [min]	n	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	\tilde{x} [MPa]	u_a [MPa]	v_x [%]	R [MPa]
2	10	5,346	0,195	5,301	0,056	3,65	0,699
3		5,003	0,205	5,034	0,059	4,09	0,585
4		4,771	0,098	4,756	0,028	2,06	0,339
5		4,442	0,190	4,523	0,055	4,28	0,574
6		4,537	0,147	4,538	0,042	3,23	0,505
7		4,377	0,102	4,384	0,030	2,33	0,293
8		4,288	0,174	4,293	0,050	4,06	0,506
9		4,241	0,160	4,189	0,046	3,76	0,474
10		4,143	0,198	4,226	0,057	4,77	0,520

Příloha H. Modul pružnosti v tahu M200, vstřikování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

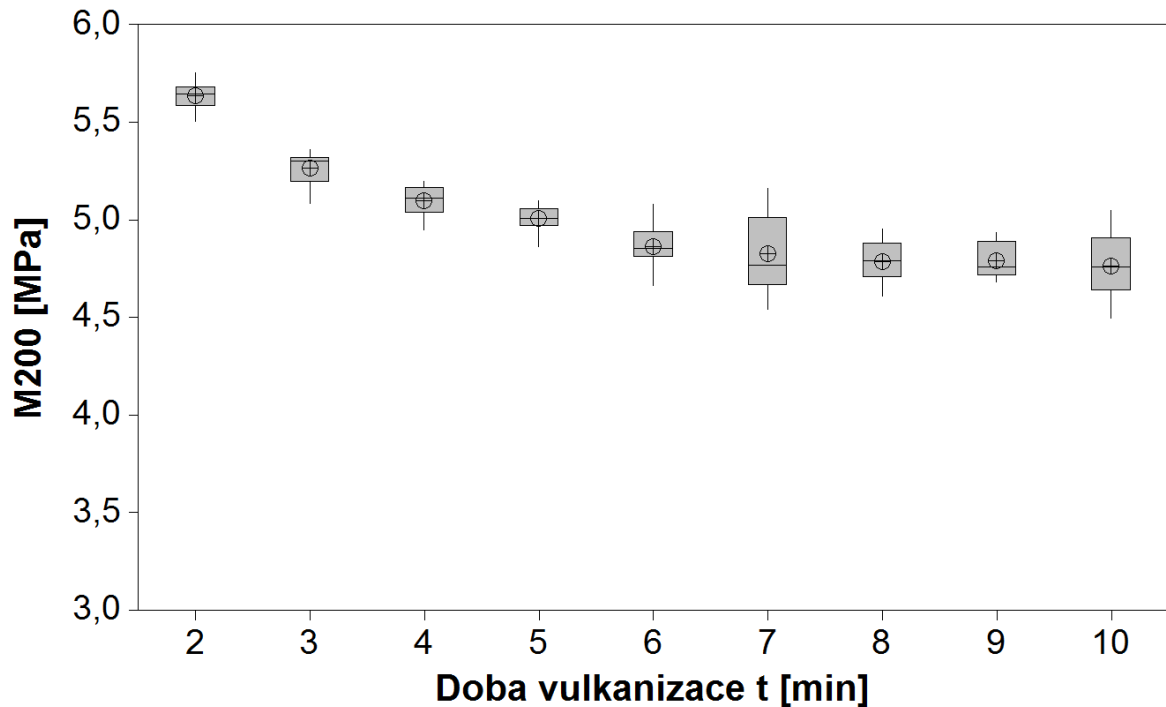


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	5,792	0,211	5,832	0,075	3,65	0,641
3		5,758	0,159	5,757	0,056	2,77	0,489
4		5,524	0,229	5,581	0,081	4,15	0,699
5		5,417	0,265	5,379	0,094	4,89	0,798
6		5,347	0,308	5,447	0,109	5,76	0,911
7		5,056	0,318	5,002	0,112	6,29	0,946
8		5,093	0,324	5,245	0,114	6,35	0,839
9		5,105	0,359	5,105	0,127	7,03	0,837
10		5,115	0,228	5,067	0,081	4,46	0,681

Příloha I. Modul pružnosti v tahu M200, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

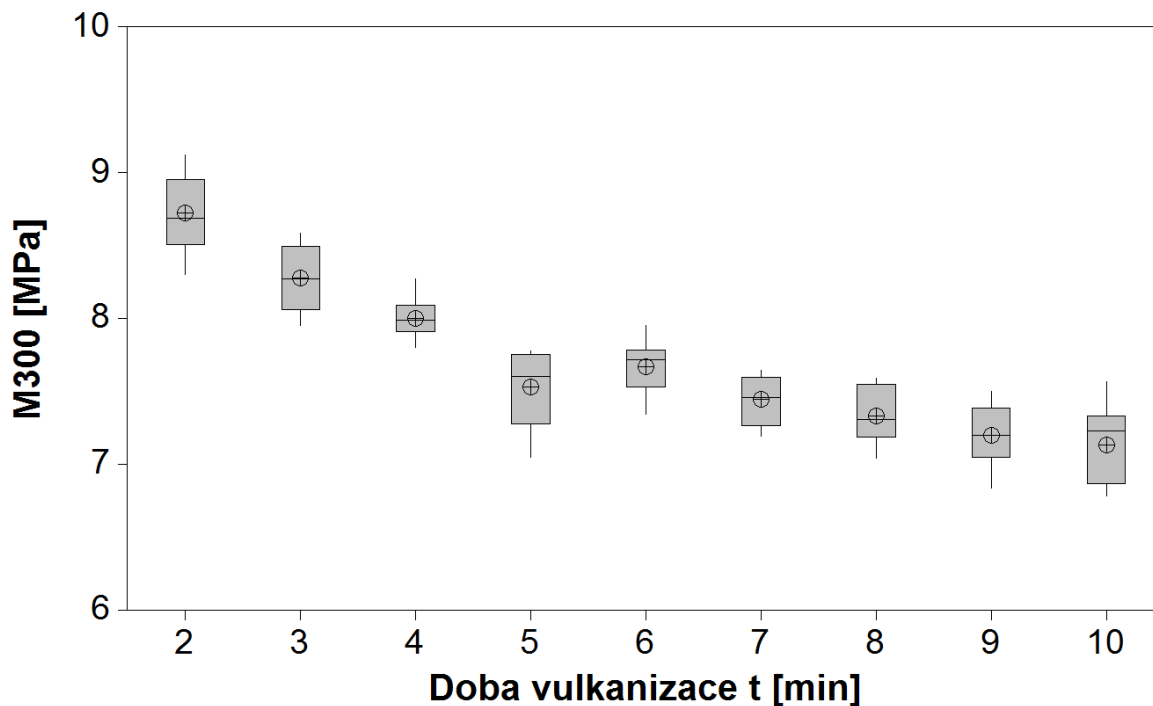


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	5,636	0,068	5,646	0,020	1,21	0,252
3		5,265	0,089	5,303	0,026	1,68	0,276
4		5,100	0,078	5,115	0,023	1,53	0,249
5		5,007	0,063	5,008	0,018	1,26	0,232
6		4,866	0,113	4,856	0,033	2,33	0,416
7		4,829	0,200	4,769	0,060	4,15	0,616
8		4,790	0,104	4,792	0,030	2,18	0,343
9		4,793	0,093	4,759	0,027	1,93	0,257
10		4,764	0,176	4,760	0,051	3,69	0,555

Příloha J. Modul pružnosti v tahu M300, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

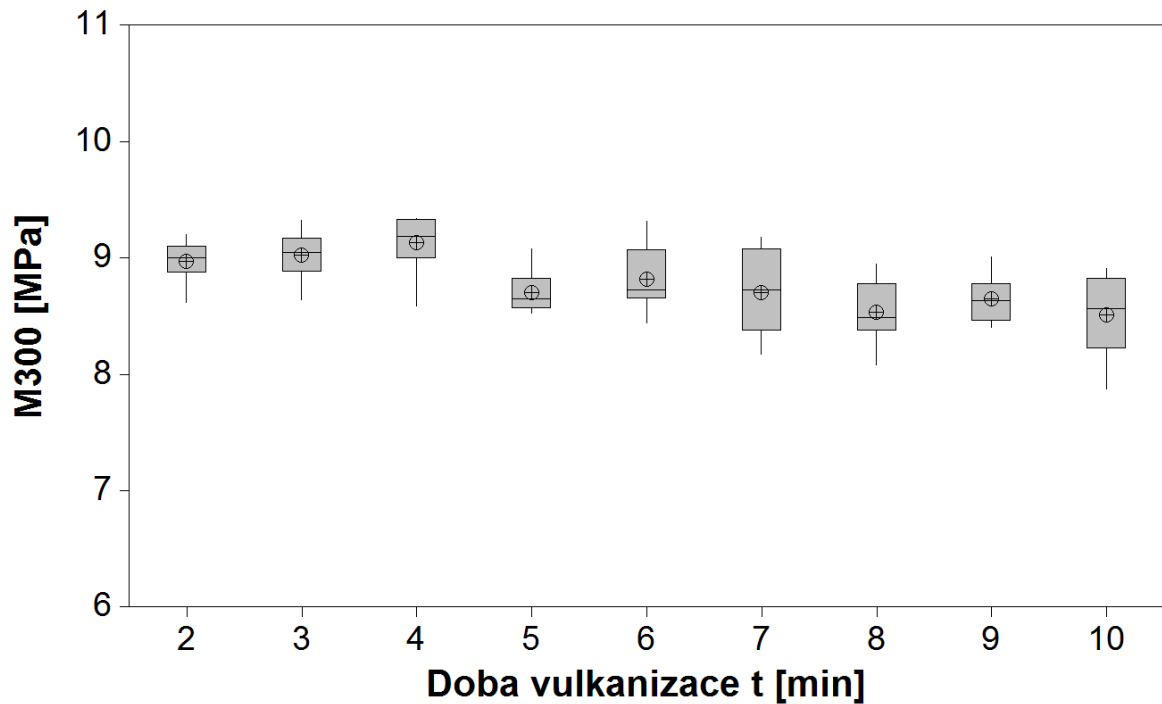


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	8,724	0,258	8,690	0,075	2,96	0,823
3		8,278	0,224	8,272	0,065	2,70	0,634
4		8,001	0,129	7,989	0,037	1,61	0,466
5		7,535	0,249	7,608	0,072	3,30	0,735
6		7,669	0,188	7,717	0,054	2,45	0,608
7		7,445	0,163	7,463	0,047	2,19	0,454
8		7,333	0,195	7,310	0,056	2,66	0,550
9		7,200	0,202	7,204	0,058	2,80	0,662
10		7,136	0,263	7,232	0,076	3,68	0,782

Příloha K. Modul pružnosti v tahu M300, vstřikování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

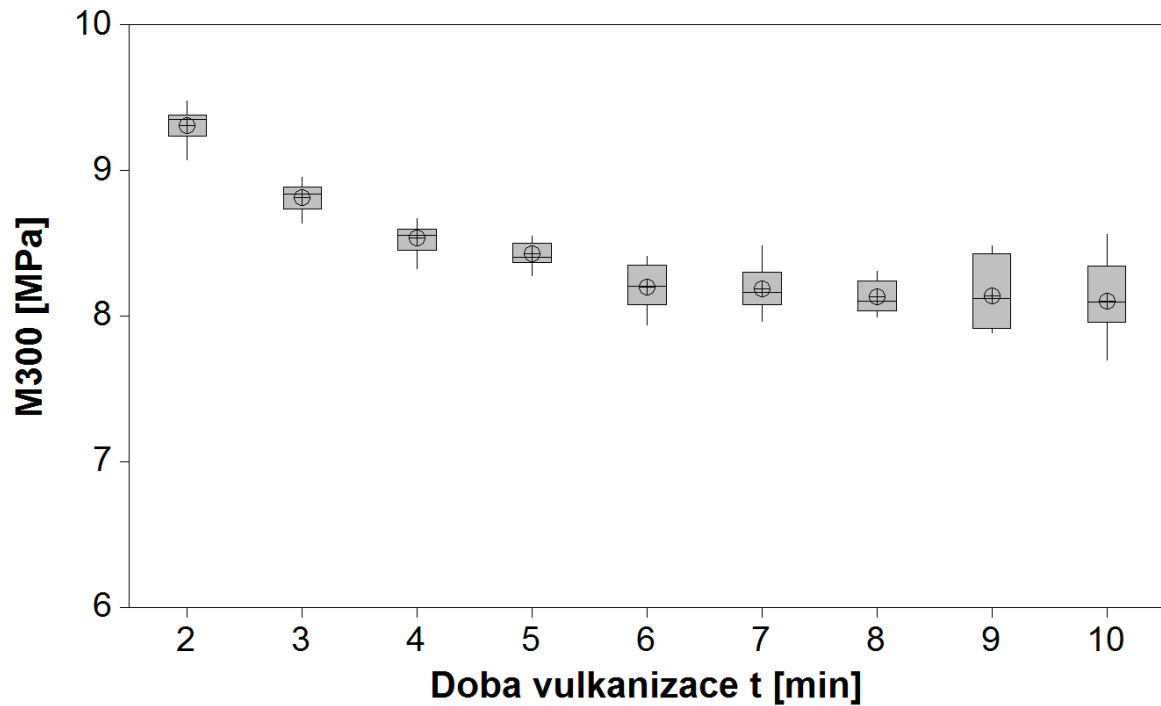


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
2	10	8,971	0,173	8,999	0,055	1,93	0,578
3		9,024	0,213	9,046	0,067	2,36	0,685
4		9,129	0,235	9,186	0,074	2,58	0,749
5		8,699	0,175	8,646	0,055	2,01	0,556
6		8,815	0,279	8,724	0,088	3,17	0,875
7		8,702	0,382	8,723	0,121	4,39	1,007
8		8,532	0,271	8,483	0,086	3,18	0,870
9		8,648	0,191	8,633	0,060	2,21	0,613
10		8,508	0,343	8,560	0,109	4,04	1,032

Příloha L. Modul pružnosti v tahu M300, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

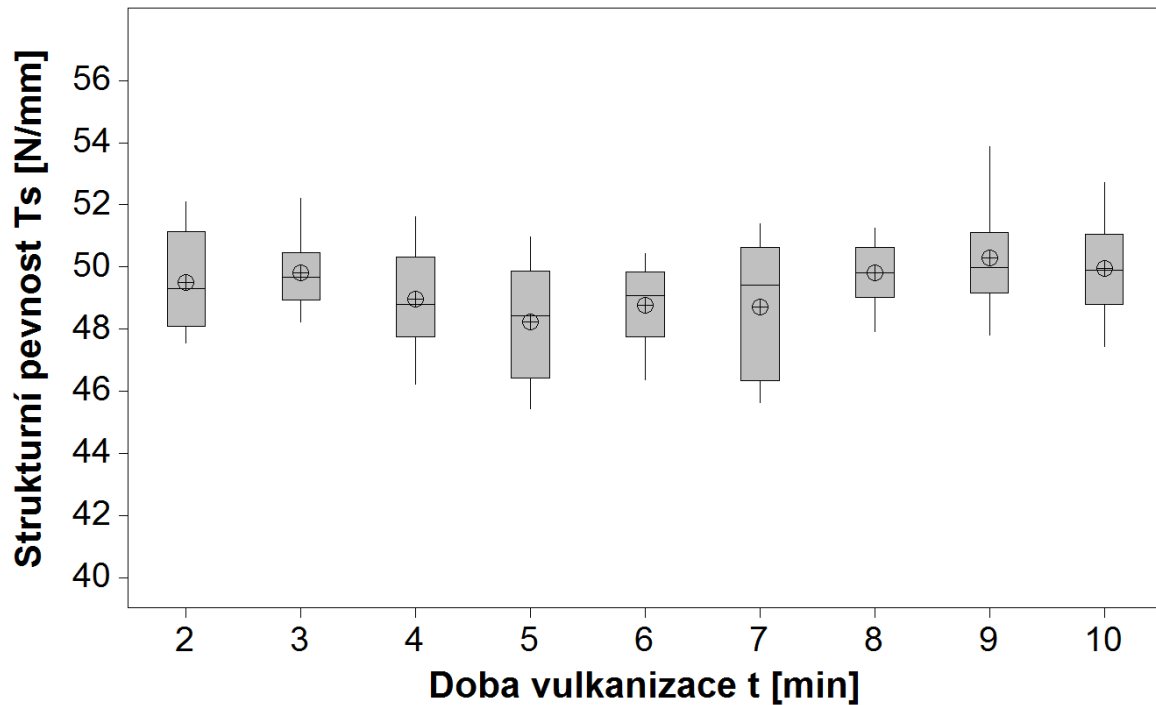


Tabulka naměřených dat

Doba vulk. [min]	n	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	\tilde{x} [MPa]	u_a [MPa]	v_x [%]	R [MPa]
2	10	9,311	0,123	9,352	0,035	1,32	0,405
3		8,819	0,095	8,845	0,028	1,08	0,314
4		8,538	0,104	8,557	0,030	1,22	0,342
5		8,430	0,081	8,405	0,023	0,96	0,273
6		8,203	0,152	8,208	0,044	1,85	0,471
7		8,191	0,144	8,163	0,042	1,75	0,518
8		8,134	0,115	8,108	0,033	1,41	0,312
9		8,145	0,239	8,125	0,072	2,93	0,597
10		8,108	0,253	8,101	0,073	3,12	0,866

Příloha M. Strukturální pevnost, těleso graves, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

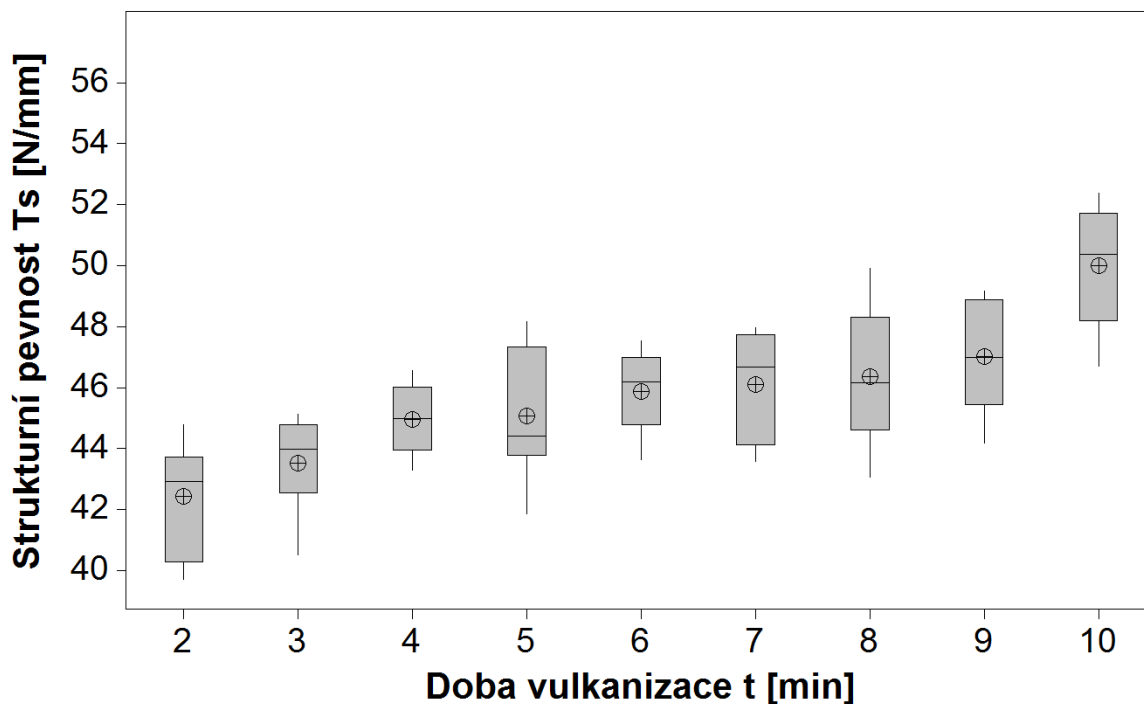


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	49,51	1,57	49,30	0,50	3,18	4,54
3		49,81	1,16	49,70	0,37	2,33	3,97
4		48,98	1,65	48,80	0,52	3,36	5,39
5		48,25	1,90	48,45	0,60	3,94	5,54
6		48,77	1,27	49,08	0,40	2,60	4,07
7		48,72	2,19	49,42	0,69	4,49	5,74
8		49,82	1,03	49,84	0,33	2,06	3,30
9		50,30	1,67	49,99	0,53	3,32	6,06
10		49,96	1,60	49,91	0,51	3,20	5,28

Příloha N. Strukturální pevnost, těleso graves, vstříkování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

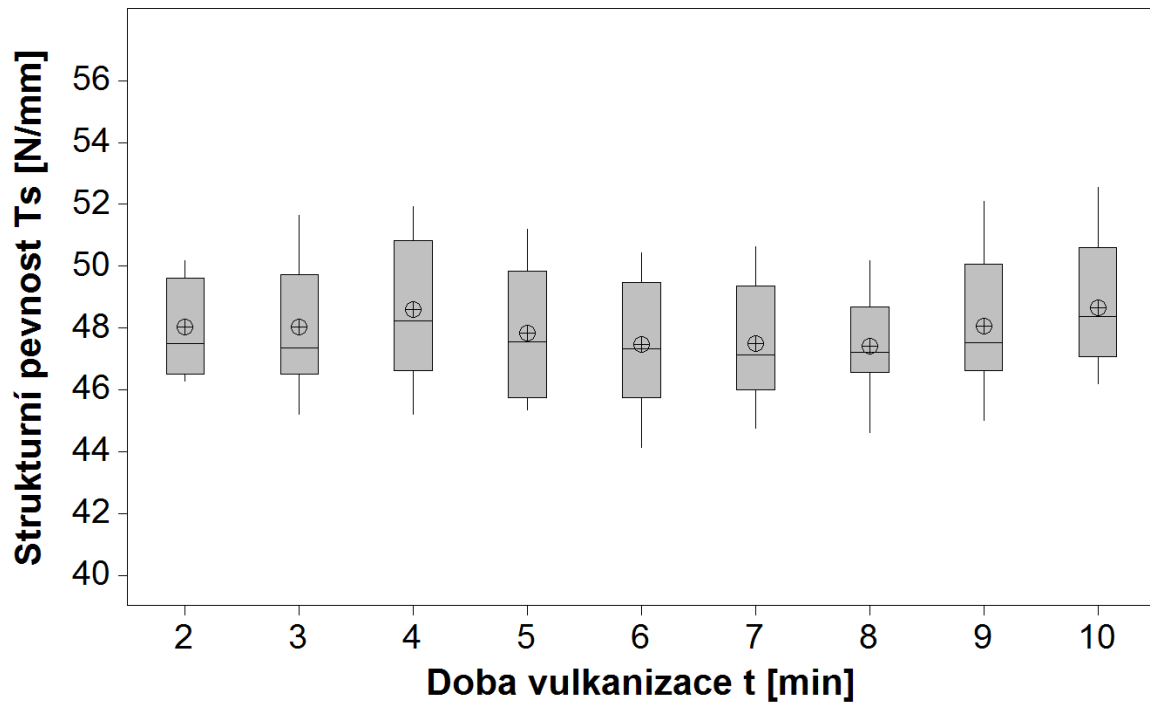


Tabulka naměřených dat

Doba vultk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	42,43	1,78	42,93	0,56	4,19	5,08
3		43,53	1,53	44,00	0,48	3,50	4,63
4		44,96	1,12	45,01	0,36	2,50	3,26
5		45,08	2,10	44,43	0,66	4,65	6,31
6		45,88	1,28	46,20	0,41	2,79	3,91
7		46,12	1,73	46,68	0,55	3,74	4,37
8		46,38	2,10	46,16	0,66	4,52	6,87
9		47,04	1,81	46,99	0,57	3,85	4,99
10		50,02	1,98	50,39	0,63	3,96	5,68

Příloha O. Strukturální pevnost, těleso graves,
vyseknutí ze vstříkované plotničky,
směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

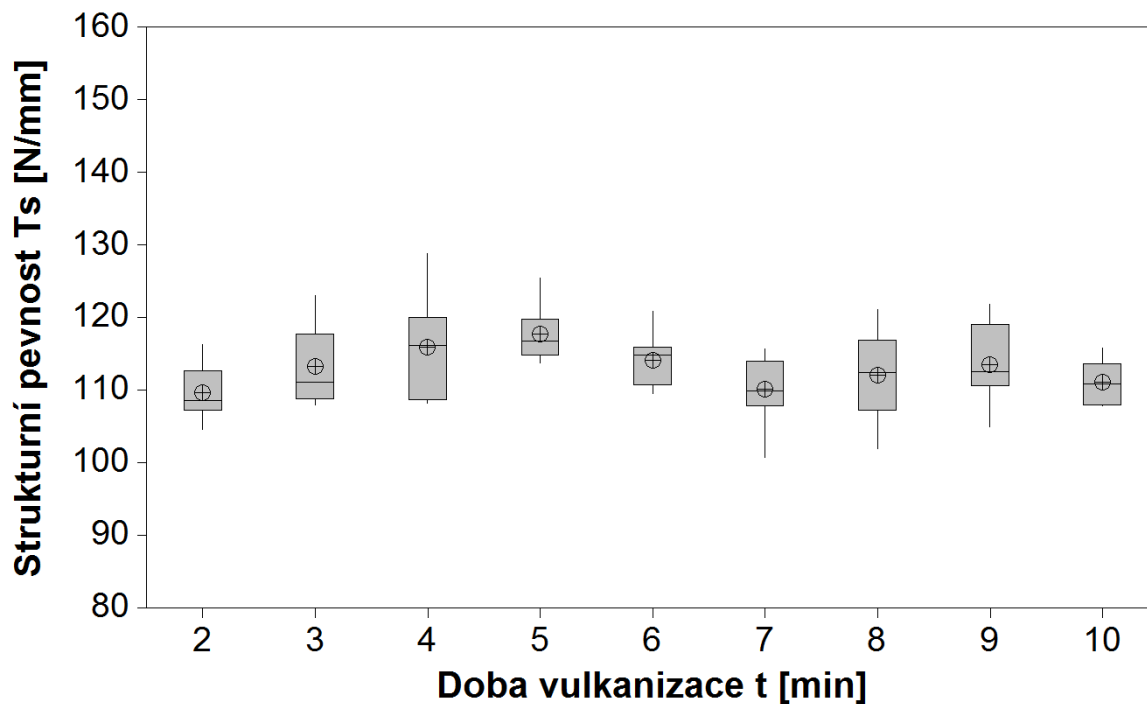


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	48,04	1,50	47,51	0,48	3,13	3,89
3		48,04	2,04	47,36	0,65	4,25	6,46
4		48,62	2,39	48,25	0,76	4,91	6,74
5		47,83	2,07	47,58	0,66	4,33	5,85
6		47,49	2,11	47,33	0,67	4,43	6,30
7		47,51	1,95	47,13	0,62	4,11	5,87
8		47,43	1,78	47,21	0,56	3,75	5,56
9		48,09	2,23	47,54	0,70	4,63	7,08
10		48,68	2,07	48,38	0,66	4,26	6,35

Příloha P. Strukturální pevnost, těleso crescent, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

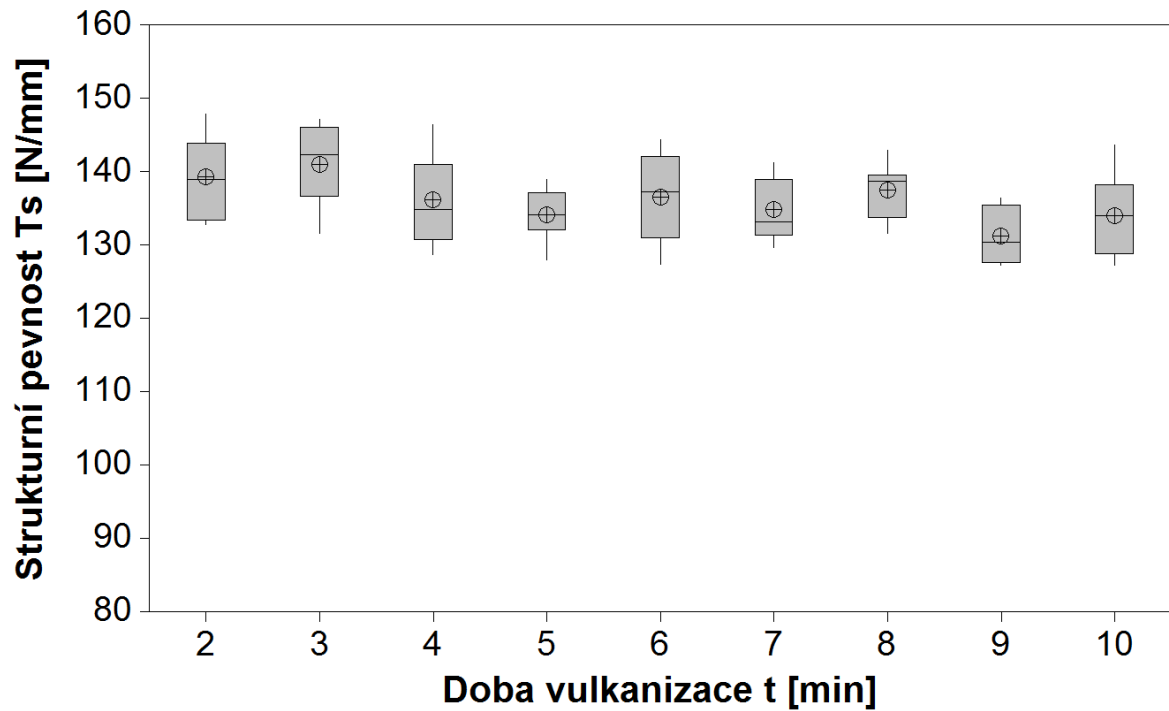


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	109,67	3,79	108,58	1,20	3,45	11,76
3		113,32	5,20	111,16	1,64	4,59	15,19
4		115,91	6,98	116,25	2,21	6,02	20,64
5		117,76	3,56	116,76	1,13	3,03	11,76
6		114,18	3,47	114,86	1,10	3,04	11,36
7		110,11	4,58	109,92	1,45	4,16	14,96
8		112,14	6,25	112,42	1,98	5,57	19,18
9		113,56	5,15	112,63	1,63	4,53	16,93
10		111,12	2,97	110,95	0,94	2,67	7,95

Příloha Q. Strukturální pevnost, těleso crescent, vstříkování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

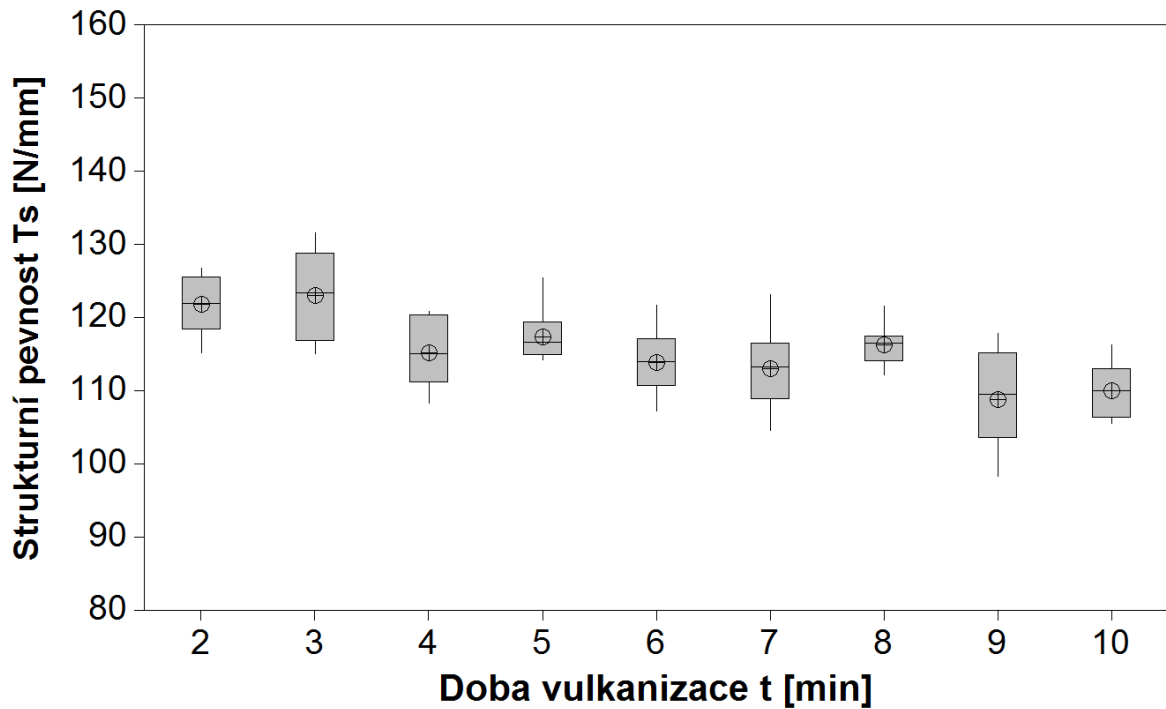


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	139,33	5,61	138,98	1,77	4,02	15,01
3		141,01	5,36	142,35	1,69	3,80	15,59
4		136,18	6,04	134,93	1,91	4,44	17,76
5		134,22	3,44	134,23	1,09	2,56	10,93
6		136,65	5,90	137,26	1,87	4,32	17,01
7		134,90	4,38	133,24	1,38	3,25	11,65
8		137,58	3,59	138,82	1,13	2,61	11,35
9		131,23	3,57	130,47	1,13	2,72	9,12
10		134,05	5,63	134,09	1,78	4,20	16,38

Příloha R. Strukturální pevnost, těleso crescent, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

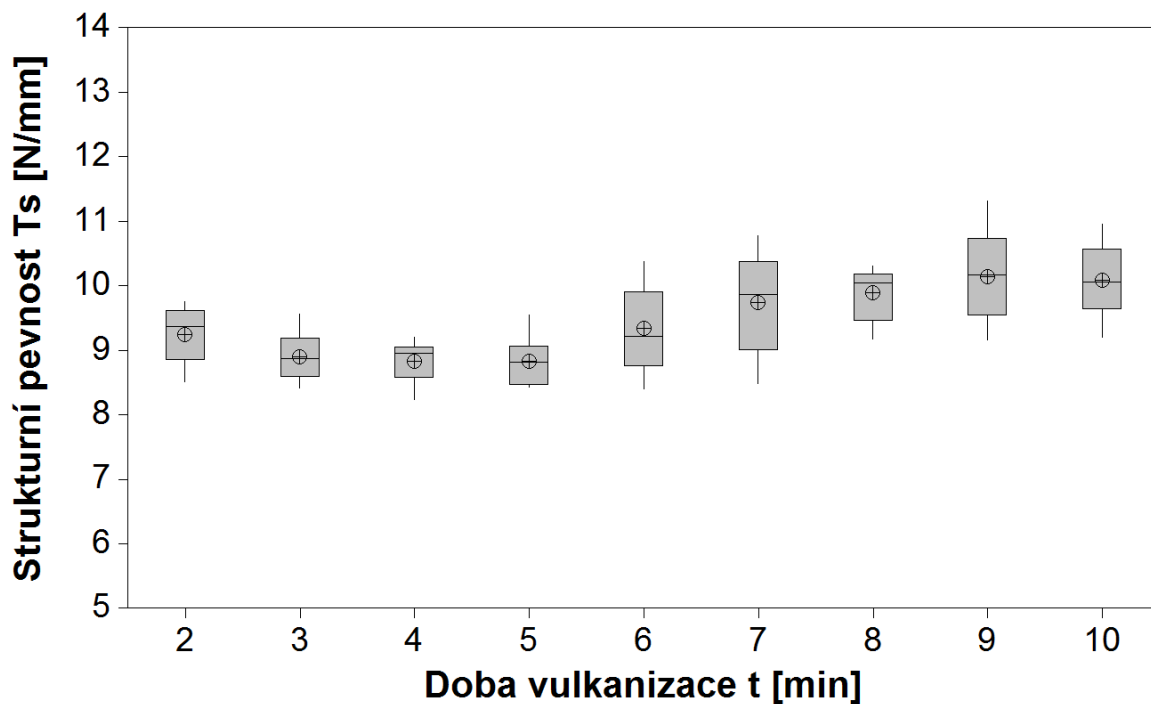


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	121,84	3,78	121,96	1,20	3,10	11,60
3		123,07	6,05	123,49	1,91	4,91	16,47
4		115,26	4,61	115,08	1,46	4,00	12,50
5		117,43	3,38	116,63	1,07	2,88	11,17
6		113,96	4,52	114,06	1,43	3,97	14,56
7		113,11	5,52	113,29	1,75	4,88	18,58
8		116,35	2,65	116,59	0,84	2,28	9,35
9		108,82	6,48	109,51	2,05	5,96	19,57
10		110,01	3,60	110,09	1,14	3,27	10,78

Příloha S. Strukturální pevnost, těleso trouser, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

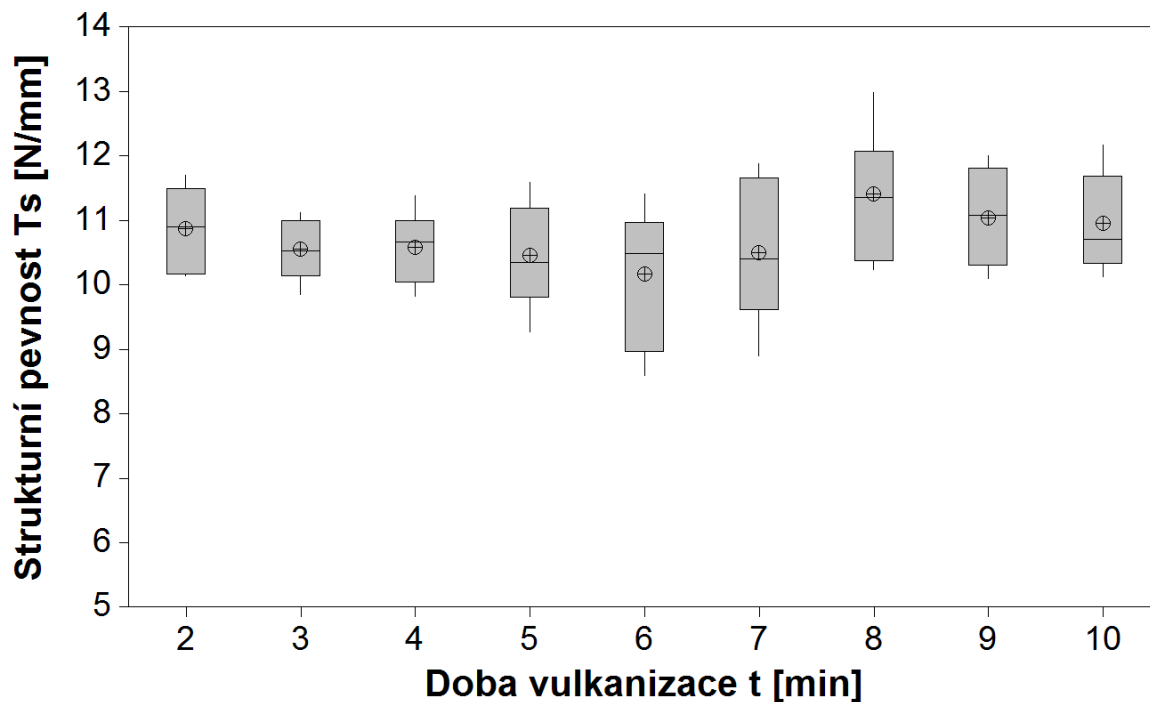


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	9,24	0,43	9,37	0,14	4,68	1,25
3		8,89	0,37	8,86	0,12	4,16	1,15
4		8,82	0,32	8,95	0,11	3,64	0,96
5		8,82	0,37	8,80	0,12	4,22	1,13
6		9,34	0,69	9,22	0,23	7,39	1,97
7		9,73	0,79	9,86	0,26	8,09	2,30
8		9,88	0,42	10,04	0,14	4,28	1,13
9		10,14	0,70	10,17	0,23	6,90	2,15
10		10,07	0,56	10,05	0,19	5,59	1,75

Příloha T. Strukturální pevnost, těleso trouser, vstříkování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

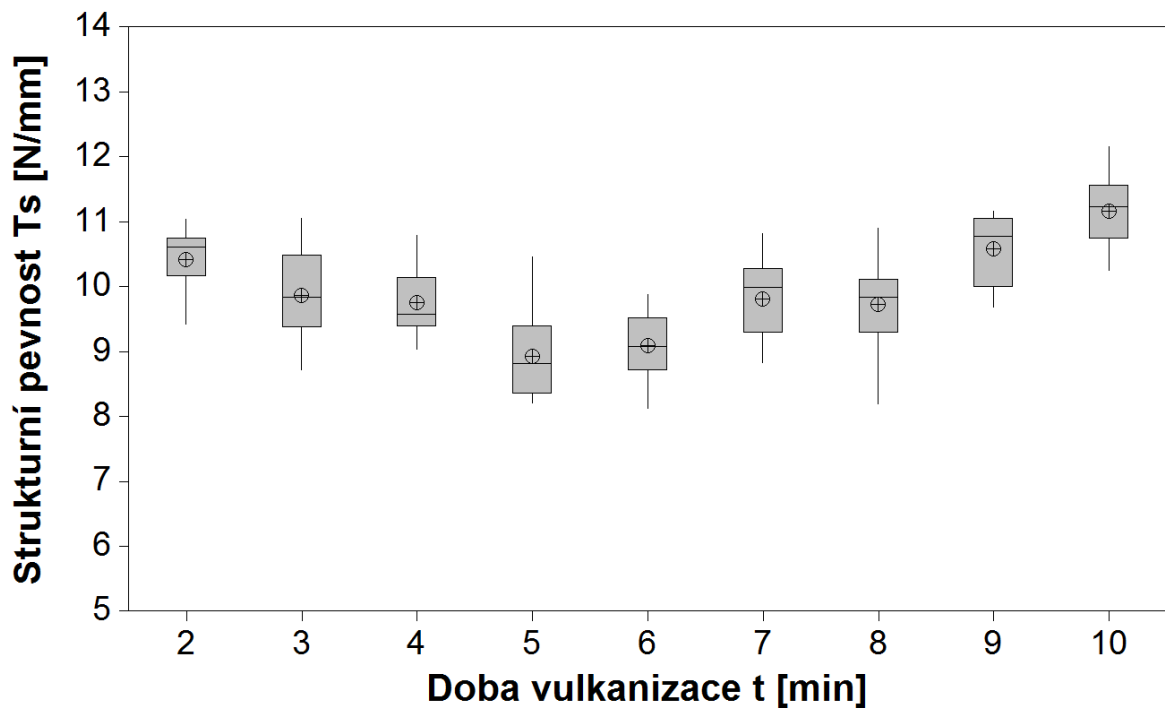


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	10,86	0,65	10,89	0,21	5,96	1,56
3		10,55	0,44	10,52	0,14	4,18	1,26
4		10,58	0,52	10,67	0,16	4,91	1,56
5		10,45	0,77	10,34	0,24	7,37	2,32
6		10,16	1,02	10,48	0,32	10,06	2,82
7		10,50	1,07	10,40	0,34	10,24	2,98
8		11,41	0,95	11,35	0,30	8,32	2,76
9		11,04	0,73	11,08	0,23	6,65	1,90
10		10,96	0,74	10,70	0,23	6,76	2,04

Příloha U. Strukturální pevnost, těleso trouser,
vyseknutí ze vstříkované plotničky,
směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

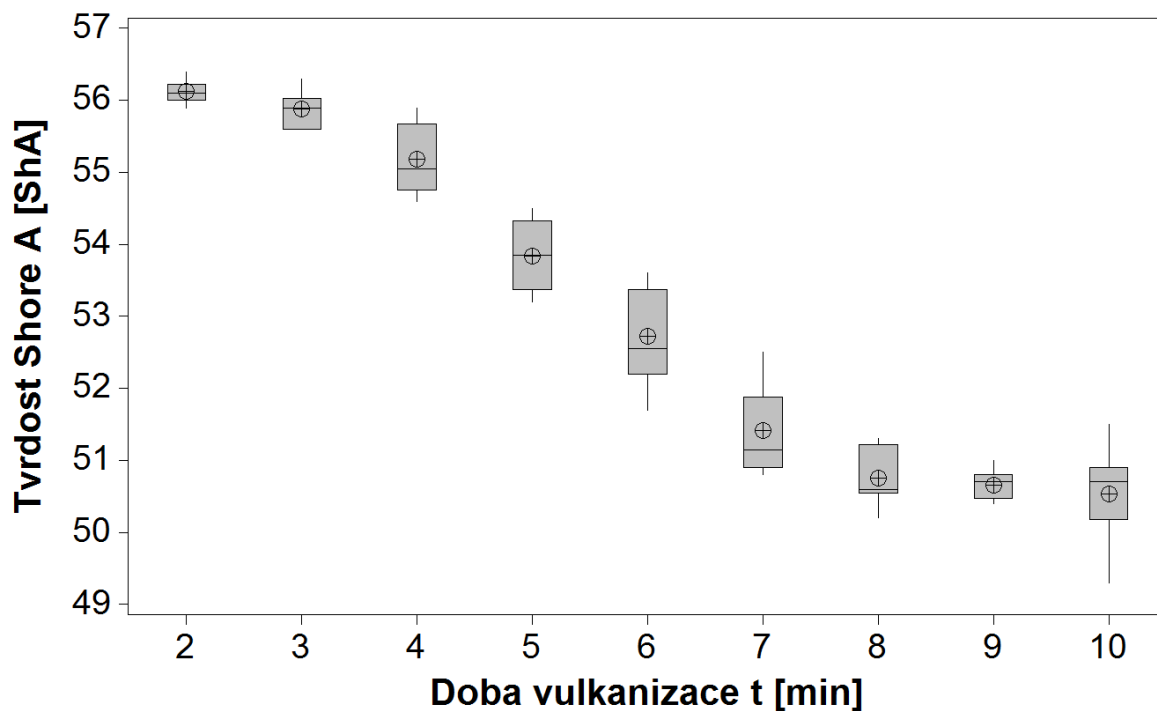


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
2	10	10,42	0,53	10,61	0,17	5,04	1,62
3		9,86	0,70	9,83	0,22	7,10	2,33
4		9,75	0,54	9,57	0,17	5,48	1,76
5		8,93	0,69	8,81	0,22	7,75	2,25
6		9,08	0,52	9,08	0,17	5,76	1,76
7		9,81	0,63	9,98	0,20	6,42	1,99
8		9,73	0,73	9,83	0,23	7,55	2,72
9		10,58	0,53	10,77	0,17	5,03	1,48
10		11,15	0,56	11,23	0,18	5,04	1,91

Příloha V. Tvrdost Shore A, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

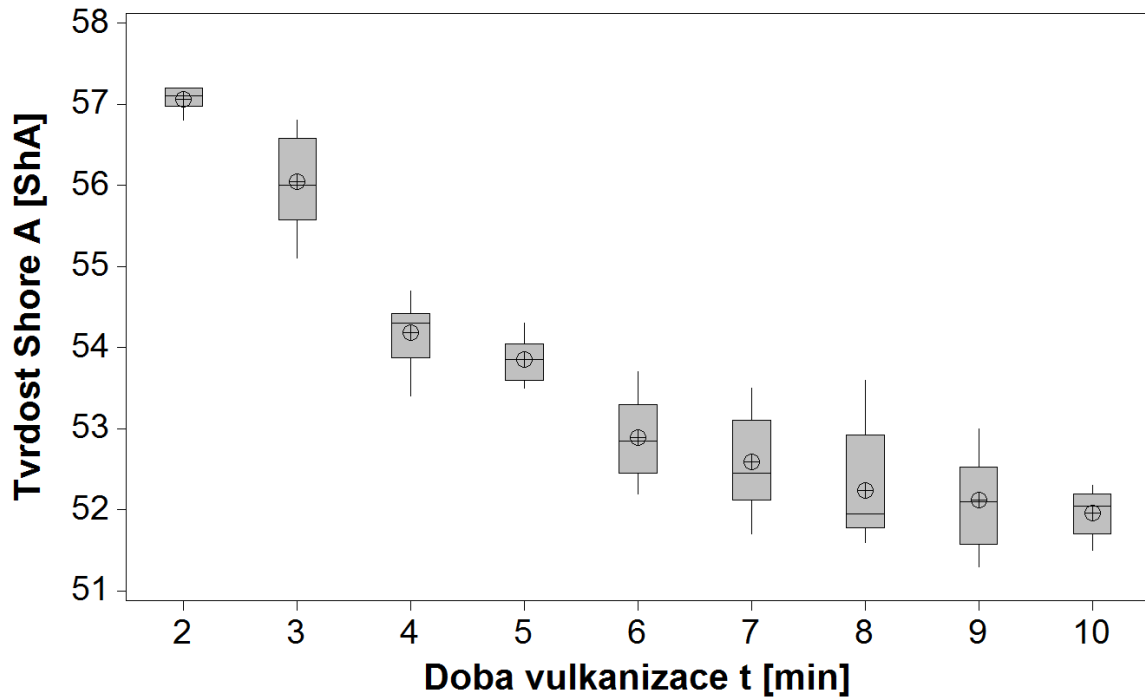


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
2	10	56,13	0,15	56,10	0,05	0,27	0,5
3		55,88	0,24	55,90	0,07	0,42	0,7
4		55,18	0,49	55,05	0,15	0,88	1,3
5		53,84	0,49	53,85	0,16	0,91	1,3
6		52,73	0,67	52,55	0,21	1,28	1,9
7		51,42	0,59	51,15	0,19	1,14	1,7
8		50,76	0,38	50,60	0,12	0,76	1,1
9		50,66	0,19	50,70	0,06	0,37	0,6
10		50,54	0,62	50,70	0,20	1,22	2,2

Příloha W. Tvrlosti Shore A, vstřikování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

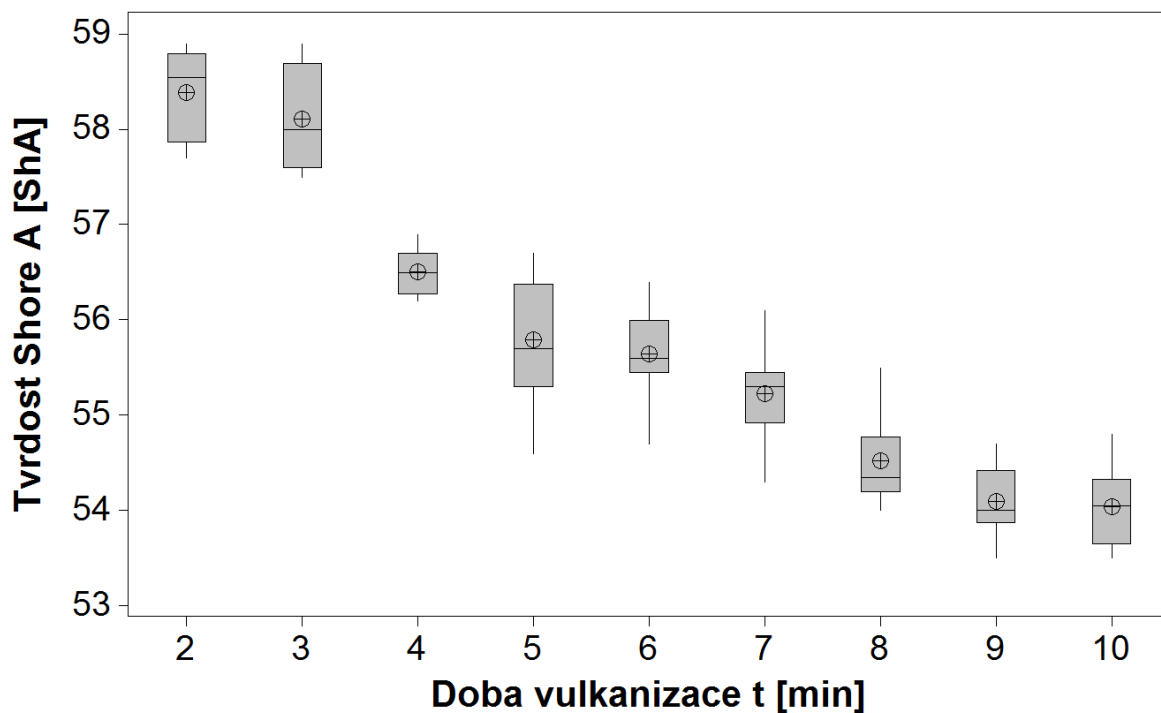


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
2	10	57,06	0,14	57,10	0,04	0,24	0,4
3		56,04	0,57	56,00	0,18	1,01	1,7
4		54,18	0,38	54,30	0,12	0,70	1,3
5		53,85	0,28	53,85	0,09	0,53	0,8
6		52,89	0,50	52,85	0,16	0,95	1,5
7		52,59	0,60	52,45	0,19	1,14	1,8
8		52,24	0,68	51,95	0,22	1,30	2,0
9		52,12	0,57	52,10	0,18	1,10	1,7
10		51,96	0,27	52,05	0,08	0,51	0,8

Příloha X. Tvrdost Shore A, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

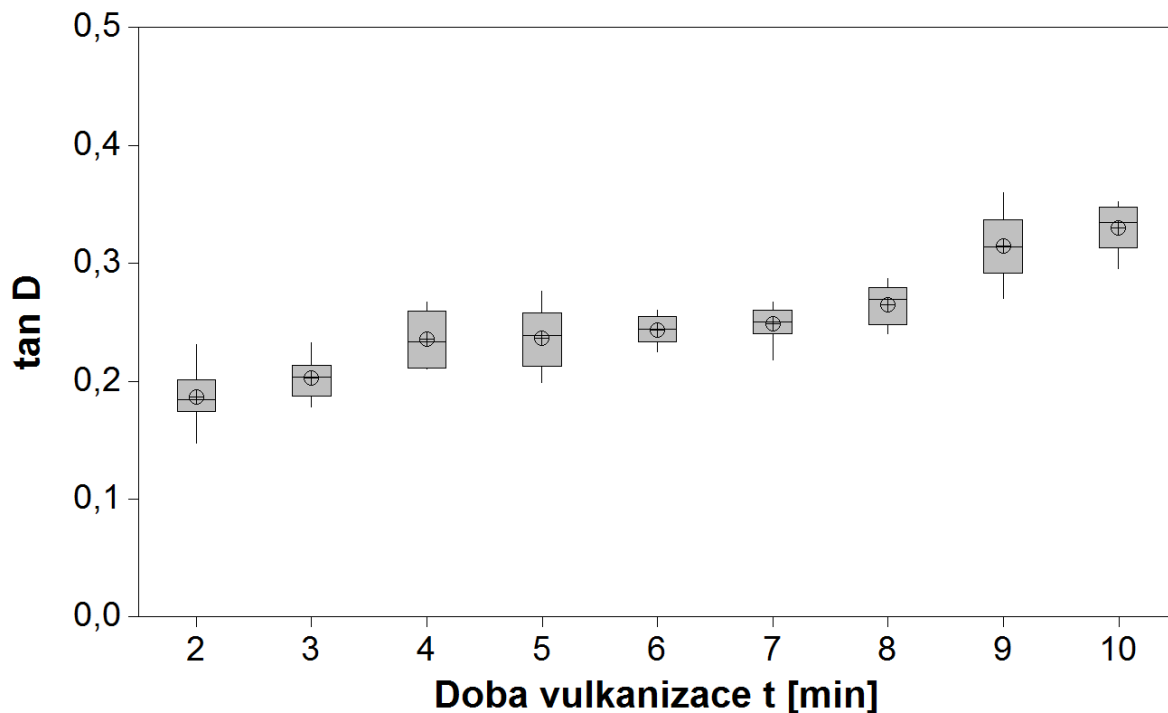


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
2	10	58,39	0,46	58,55	0,15	0,78	1,2
3		58,11	0,55	58,00	0,17	0,95	1,4
4		56,51	0,24	56,50	0,08	0,43	0,7
5		55,79	0,67	55,70	0,21	1,21	2,1
6		55,65	0,48	55,60	0,15	0,87	1,7
7		55,23	0,49	55,30	0,15	0,88	1,8
8		54,52	0,45	54,35	0,14	0,82	1,5
9		54,10	0,37	54,00	0,12	0,68	1,2
10		54,04	0,46	54,05	0,15	0,86	1,3

Příloha Y. Ztrátový faktor $\tan \delta$, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

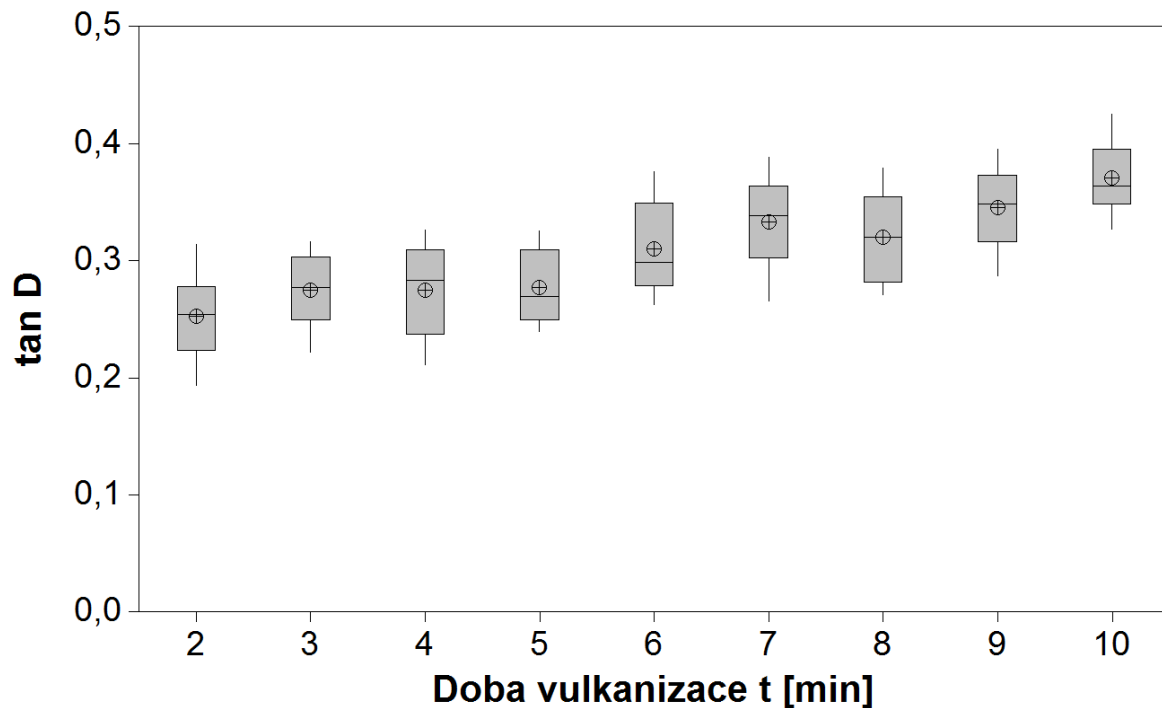


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]						[%]	
2	10	0,187	0,024	0,184	0,009	13,08	0,084
3		0,203	0,017	0,204	0,006	8,46	0,054
4		0,235	0,024	0,233	0,008	10,21	0,057
5		0,236	0,026	0,239	0,009	10,97	0,077
6		0,243	0,012	0,244	0,004	4,91	0,035
7		0,248	0,015	0,250	0,005	6,23	0,049
8		0,265	0,017	0,270	0,006	6,52	0,047
9		0,315	0,029	0,314	0,010	9,12	0,090
10		0,330	0,021	0,335	0,007	6,28	0,057

Příloha Z. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vstřikování, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

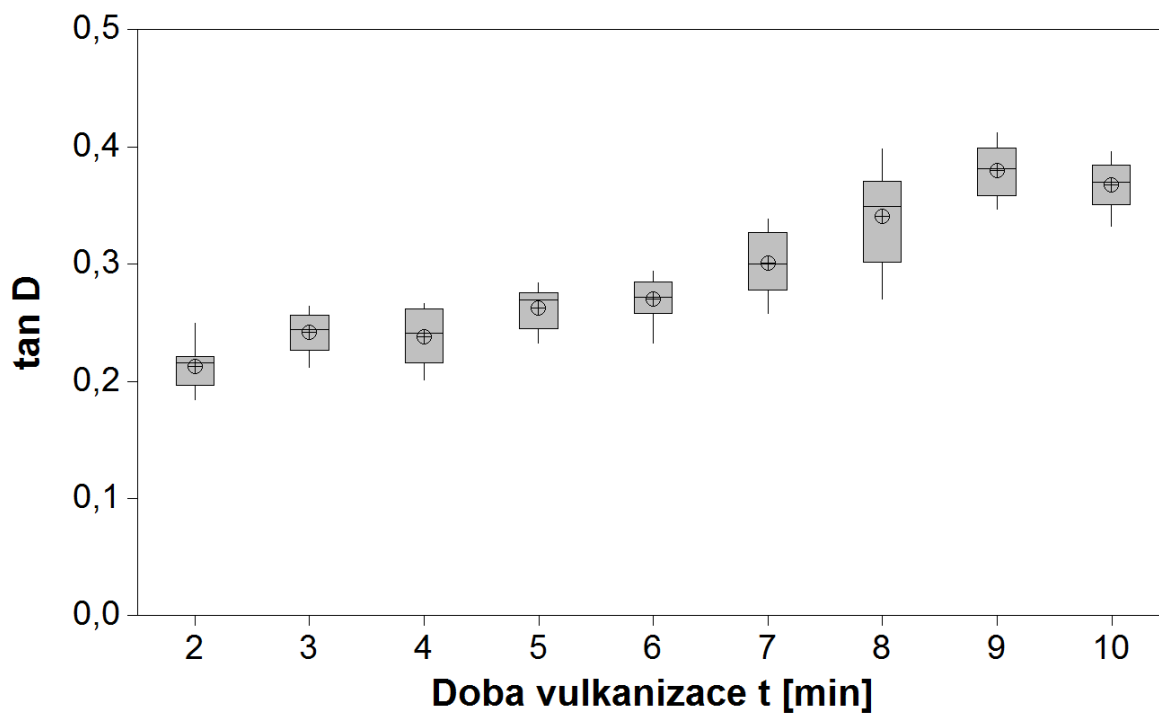


Tabulka naměřených dat

Doba vulk. [min]	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x [%]	R
2	10	0,252	0,037	0,254	0,013	14,79	0,121
3		0,275	0,032	0,277	0,011	11,61	0,094
4		0,274	0,040	0,283	0,014	14,58	0,115
5		0,277	0,033	0,270	0,012	11,94	0,086
6		0,310	0,040	0,299	0,014	13,00	0,114
7		0,333	0,040	0,339	0,014	11,87	0,123
8		0,320	0,039	0,320	0,014	12,21	0,108
9		0,345	0,036	0,349	0,013	10,37	0,108
10		0,370	0,032	0,364	0,011	8,64	0,098

Příloha AA. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

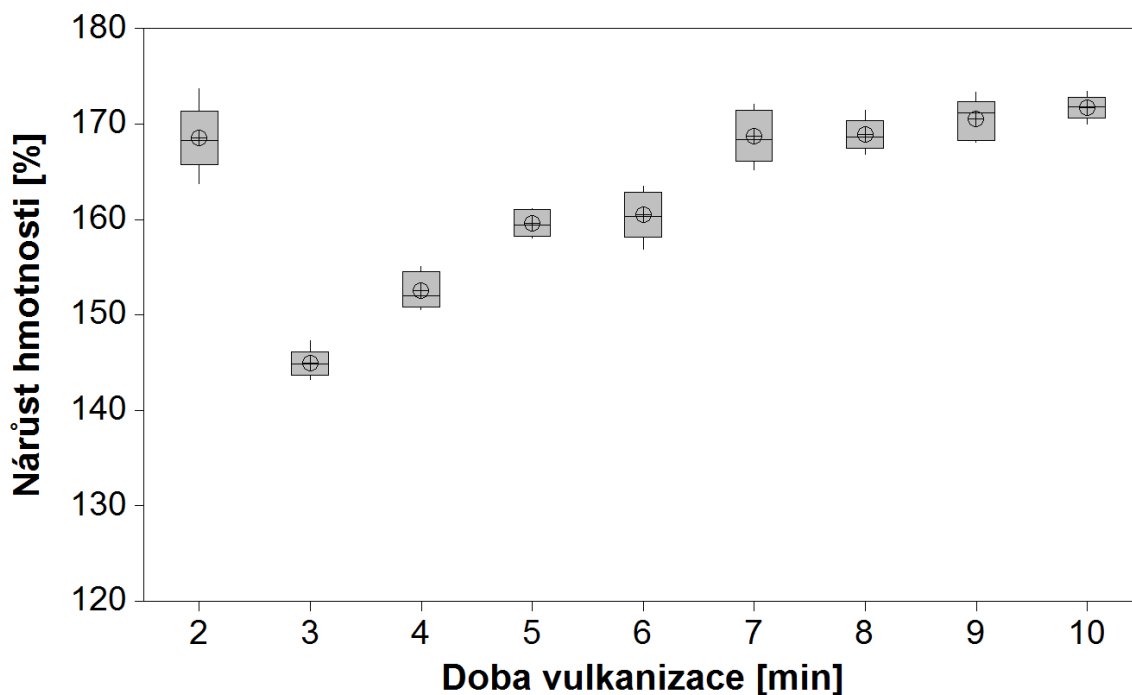


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]						[%]	
2	10	0,213	0,020	0,216	0,007	9,26	0,065
3		0,242	0,018	0,244	0,006	7,25	0,052
4		0,238	0,024	0,241	0,009	10,14	0,065
5		0,263	0,018	0,270	0,006	6,85	0,052
6		0,270	0,020	0,272	0,007	7,25	0,062
7		0,301	0,027	0,300	0,010	9,08	0,080
8		0,341	0,042	0,349	0,015	12,45	0,128
9		0,379	0,023	0,382	0,008	6,09	0,065
10		0,368	0,021	0,370	0,007	5,75	0,064

Příloha BB. Nárůst hmotnosti botnáním, standardní příprava, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

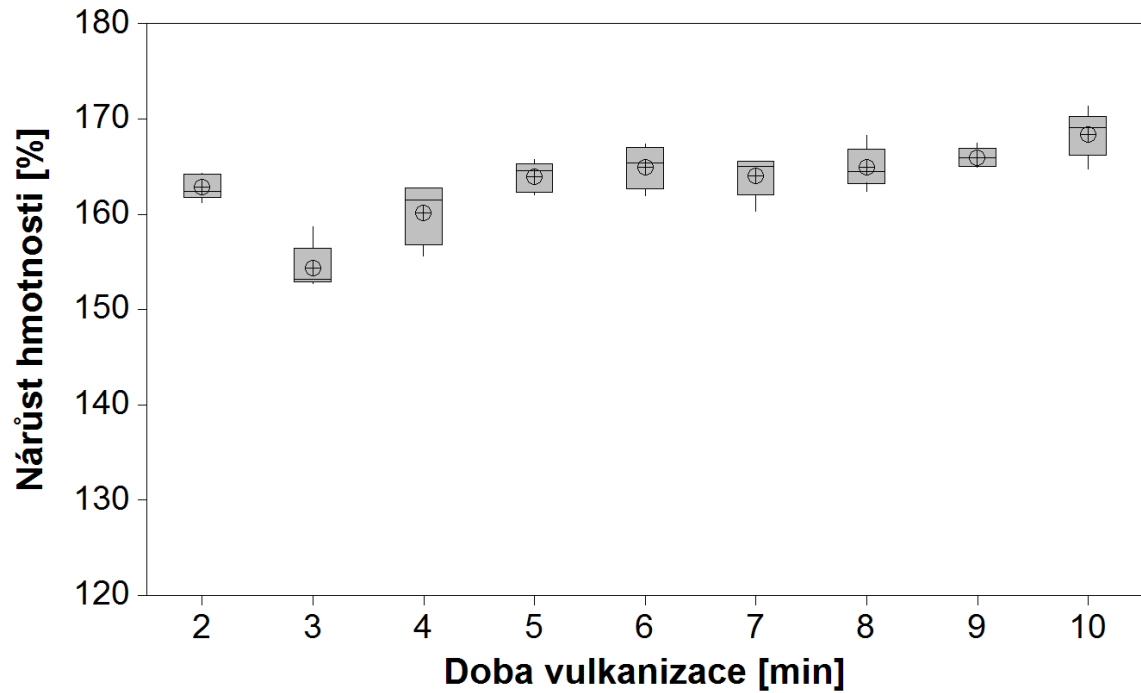


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	5	168,560	3,540	168,340	1,580	2,10	9,920
3		144,940	1,510	144,890	0,675	1,04	4,100
4		152,570	1,890	152,000	0,847	1,24	4,460
5		159,630	1,380	159,470	0,618	0,87	3,060
6		160,510	2,560	160,330	1,140	1,59	6,560
7		168,750	2,770	168,410	1,240	1,64	6,870
8		168,920	1,700	168,650	0,759	1,00	4,620
9		170,560	2,180	171,250	0,974	1,28	5,230
10		171,790	1,270	171,840	0,567	0,74	3,450

Příloha CC. Nárůst hmotnosti botnáním, vstřikováním, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

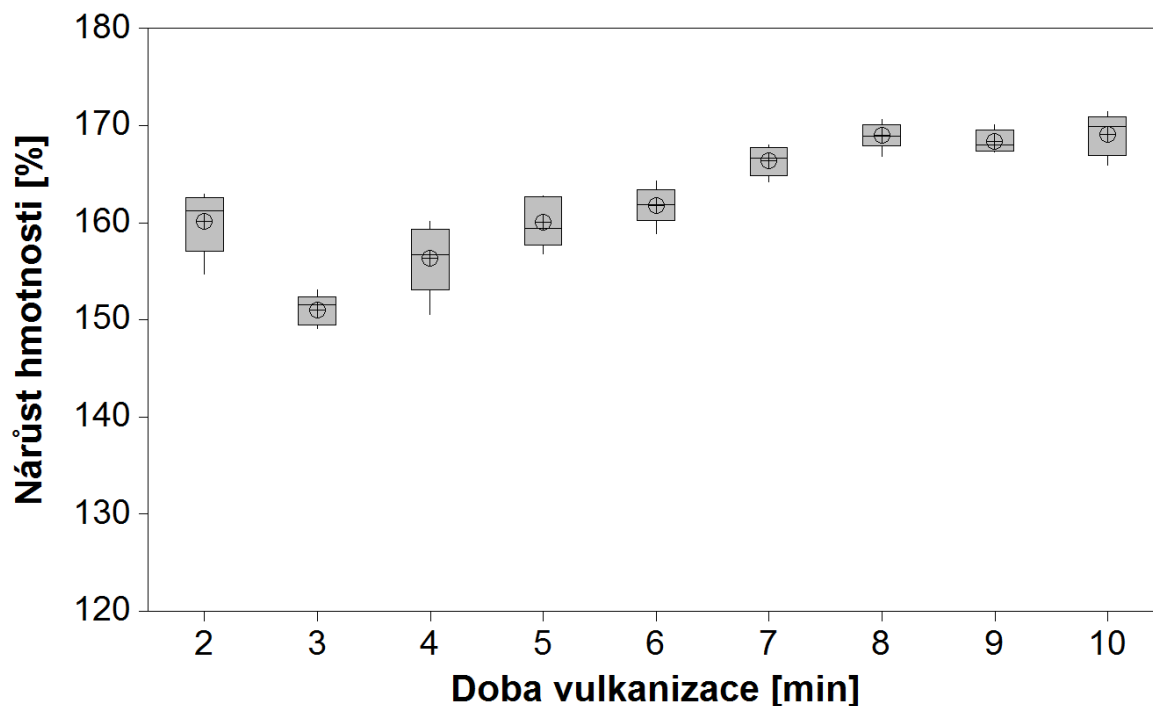


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	5	162,930	1,320	162,470	0,590	0,81	3,080
3		154,400	2,490	153,180	1,110	1,61	5,960
4		160,150	3,190	161,520	1,430	1,99	7,220
5		164,000	1,580	164,660	0,704	0,96	3,700
6		164,990	2,280	165,430	1,020	1,38	5,480
7		164,070	2,220	165,030	0,992	1,35	5,280
8		164,970	2,150	164,510	0,961	1,30	5,830
9		166,000	1,030	165,990	0,462	0,62	2,580
10		168,460	2,440	169,130	1,090	1,45	6,610

Příloha DD. Nárůst hmotnosti botnáním, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs NR+BR

Box-plotový diagram naměřených dat

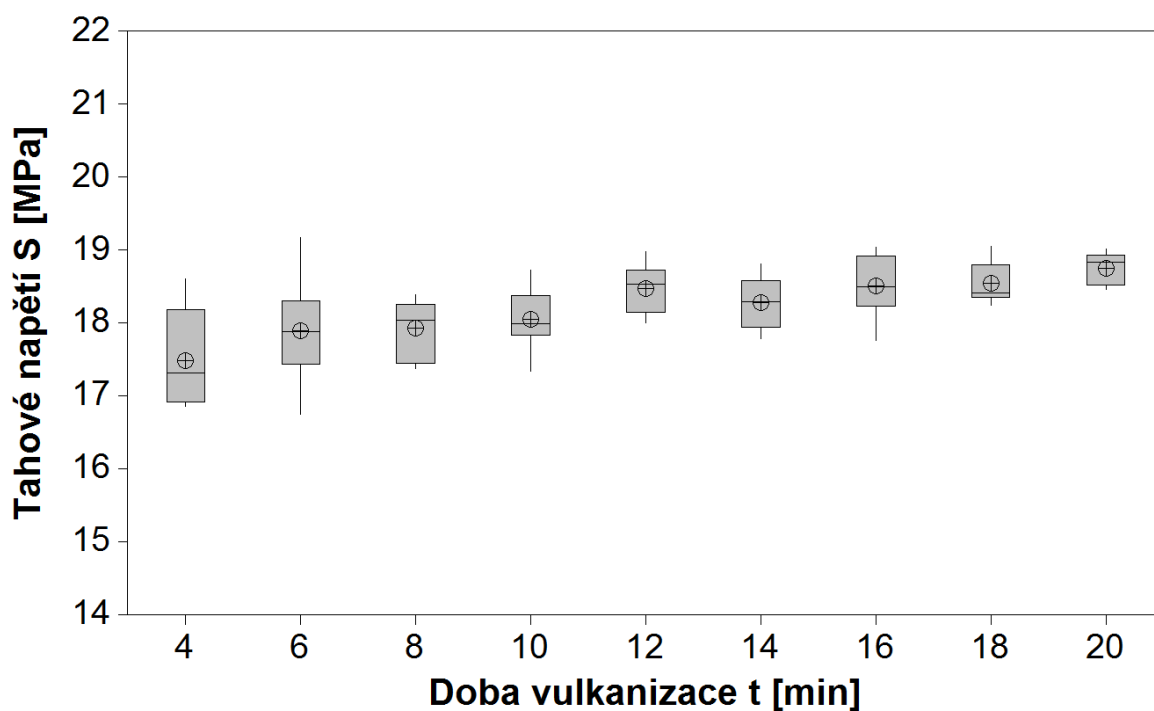


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	5	160,160	3,280	161,290	1,470	2,05	8,220
3		151,070	1,580	151,600	0,707	1,05	3,990
4		156,360	3,650	156,710	1,630	2,34	9,610
5		160,070	2,610	159,410	1,170	1,63	5,940
6		161,830	1,960	161,860	0,876	1,21	5,440
7		166,410	1,550	166,740	0,693	0,93	3,750
8		169,030	1,390	168,980	0,622	0,82	3,800
9		168,410	1,200	168,020	0,537	0,71	2,830
10		169,150	2,180	169,910	0,976	1,29	5,550

Příloha EE. Pevnost v tahu, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

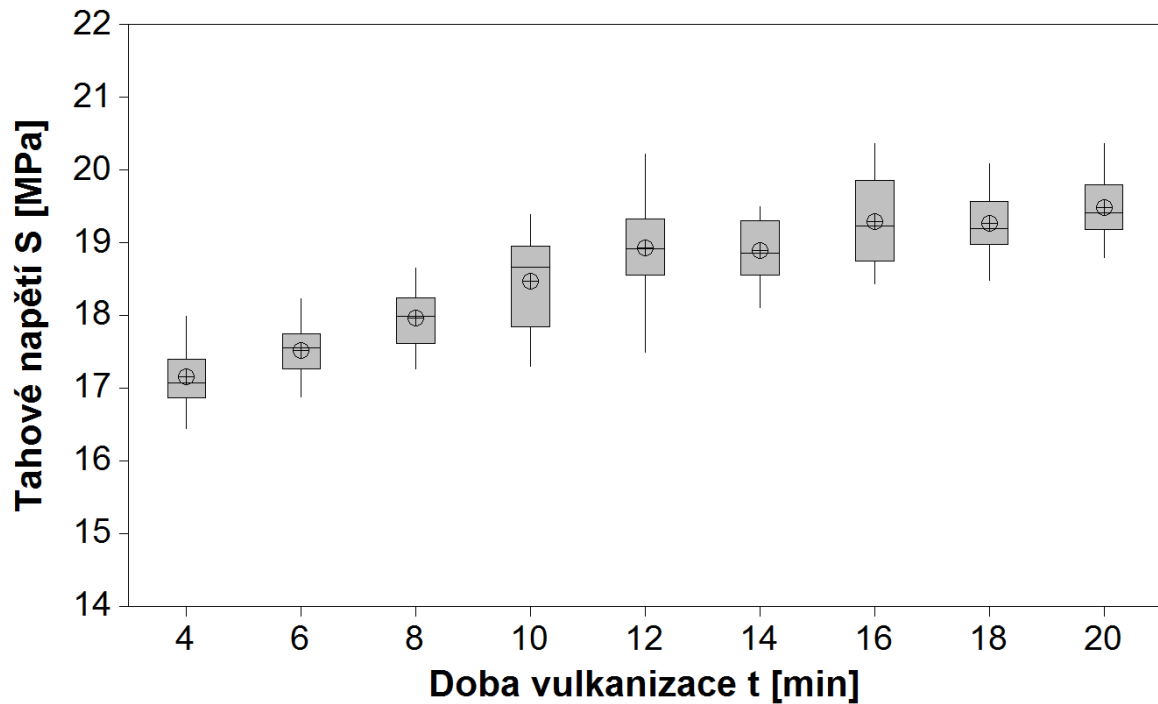


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	17,487	0,648	17,314	0,205	3,70	1,747
6		17,896	0,687	17,890	0,217	3,84	2,428
8		17,938	0,389	18,038	0,123	2,17	1,015
10		18,052	0,388	17,992	0,123	2,15	1,383
12		18,474	0,338	18,535	0,107	1,83	0,972
14		18,288	0,358	18,298	0,113	1,96	1,026
16		18,515	0,415	18,505	0,131	2,24	1,281
18		18,552	0,277	18,419	0,088	1,49	0,817
20		18,756	0,215	18,837	0,068	1,15	0,553

Příloha FF. Pevnost v tahu, vstříkování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

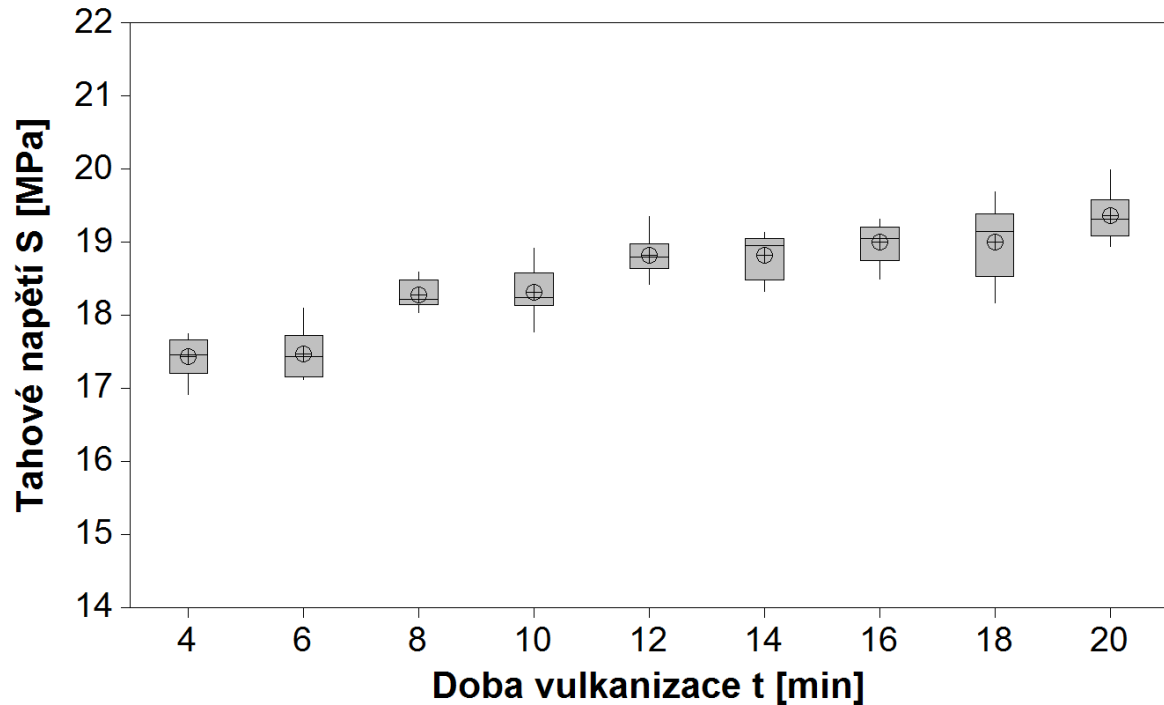


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	17,156	0,465	17,073	0,147	2,71	1,544
6		17,527	0,374	17,560	0,118	2,13	1,348
8		17,967	0,401	17,995	0,127	2,23	1,390
10		18,481	0,666	18,676	0,211	3,60	2,083
12		18,932	0,743	18,918	0,235	3,92	2,727
14		18,901	0,455	18,865	0,144	2,40	1,387
16		19,294	0,624	19,237	0,197	3,23	1,929
18		19,271	0,451	19,201	0,143	2,34	1,607
20		19,488	0,445	19,424	0,141	2,28	1,574

Příloha GG. Pevnost v tahu, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

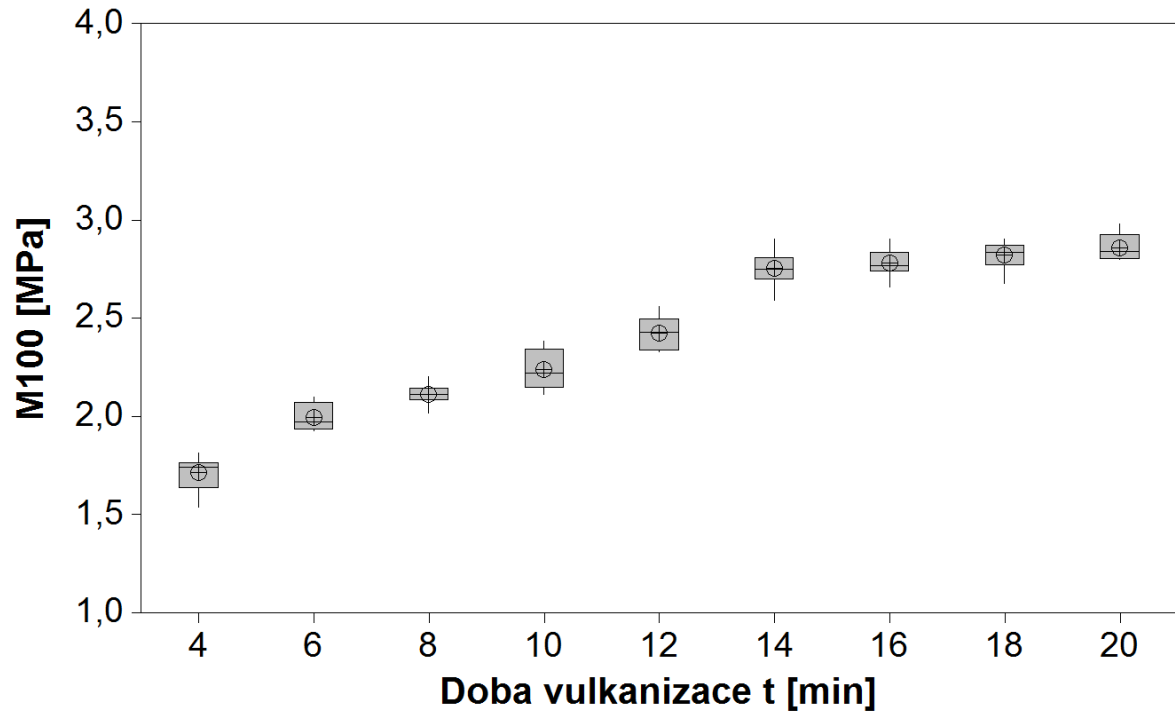


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	17,434	0,266	17,467	0,084	1,52	0,829
6		17,478	0,329	17,436	0,104	1,88	0,969
8		18,279	0,183	18,221	0,058	1,00	0,560
10		18,324	0,322	18,247	0,102	1,76	1,137
12		18,824	0,263	18,804	0,083	1,40	0,924
14		18,832	0,304	18,964	0,096	1,62	0,812
16		19,006	0,260	19,060	0,082	1,37	0,826
18		19,011	0,491	19,147	0,155	2,58	1,514
20		19,371	0,343	19,326	0,109	1,77	1,049

Příloha HH. Modul pružnosti v tahu M100, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

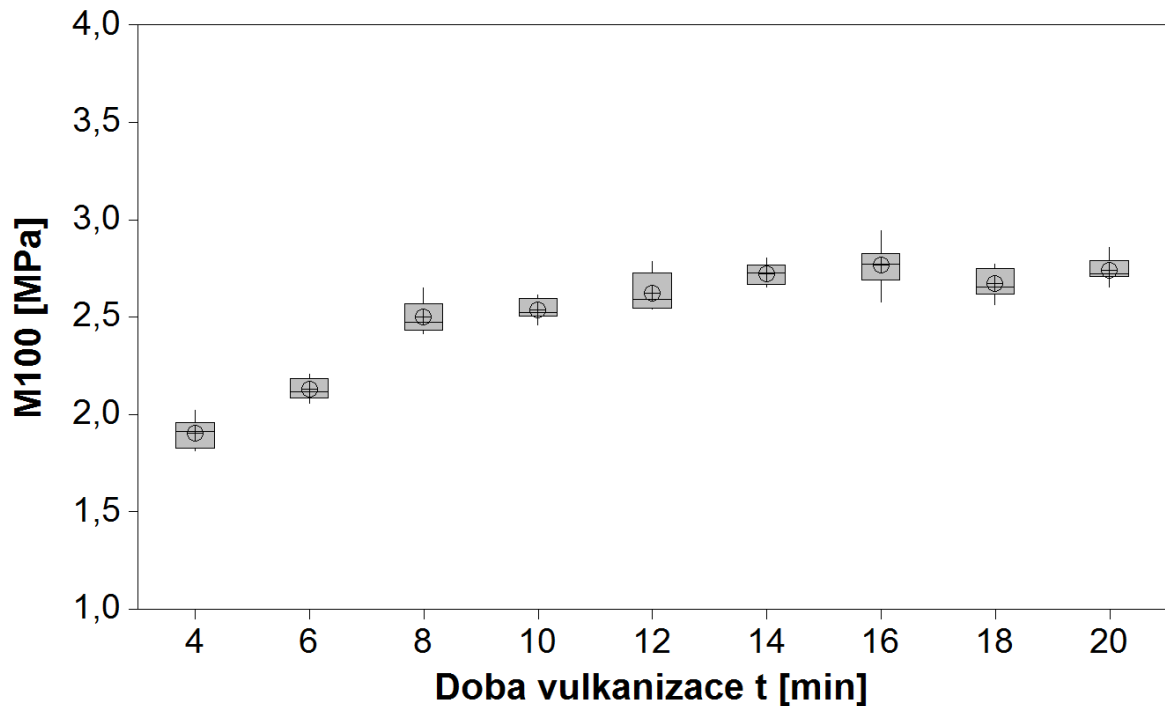


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	1,714	0,086	1,742	0,027	5,01	0,276
6		1,994	0,067	1,971	0,021	3,38	0,174
8		2,113	0,051	2,111	0,016	2,42	0,186
10		2,240	0,103	2,222	0,033	4,60	0,269
12		2,425	0,086	2,428	0,027	3,54	0,229
14		2,755	0,086	2,753	0,027	3,11	0,313
16		2,781	0,069	2,771	0,022	2,49	0,242
18		2,821	0,072	2,838	0,023	2,56	0,230
20		2,861	0,067	2,841	0,021	2,35	0,179

Příloha II. Modul pružnosti v tahu M100, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

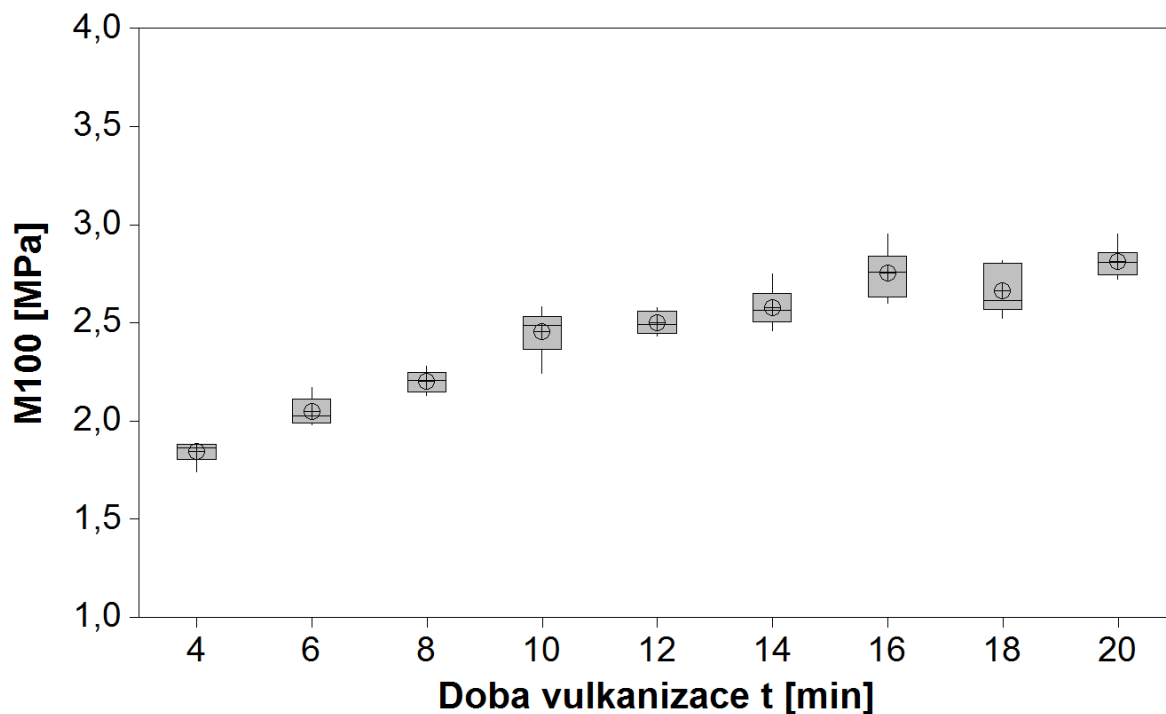


Tabulka naměřených dat

Doba vultk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	1,906	0,076	1,914	0,027	3,98	0,208
6		2,129	0,053	2,116	0,019	2,50	0,148
8		2,501	0,082	2,475	0,029	3,28	0,236
10		2,539	0,053	2,527	0,019	2,08	0,155
12		2,624	0,099	2,595	0,035	3,76	0,245
14		2,724	0,053	2,728	0,019	1,94	0,151
16		2,769	0,111	2,772	0,039	3,99	0,369
18		2,674	0,077	2,658	0,027	2,90	0,211
20		2,741	0,065	2,724	0,023	2,36	0,206

Příloha JJ. Modul pružnosti v tahu M100, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

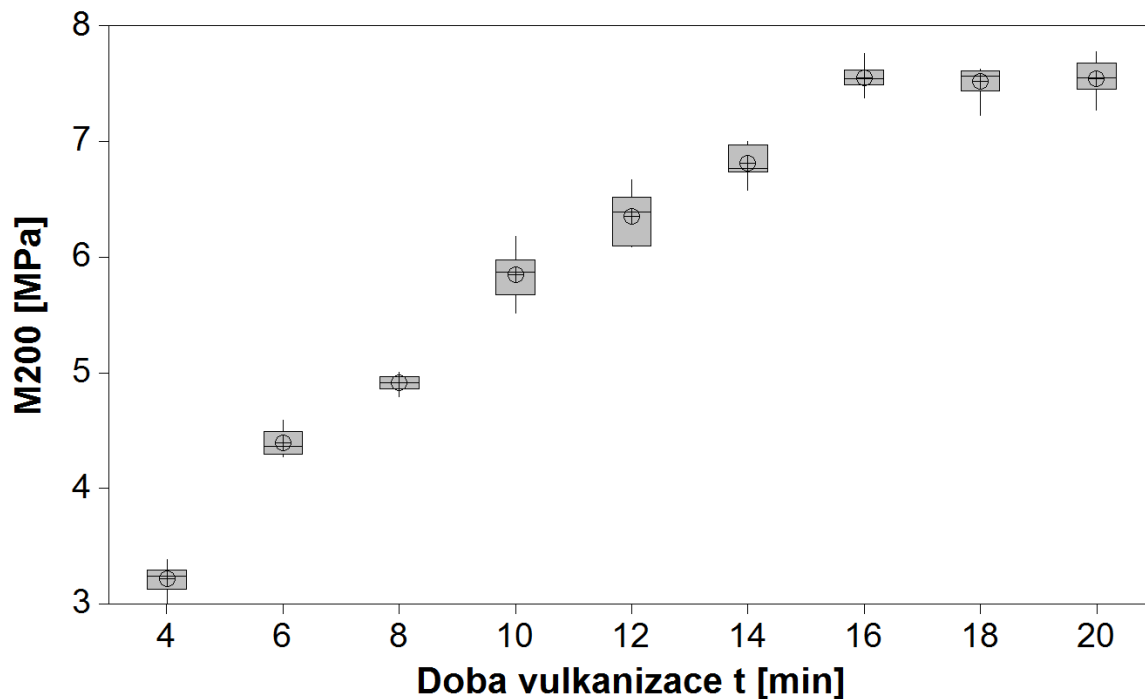


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	1,844	0,050	1,865	0,018	2,73	0,145
6		2,051	0,070	2,025	0,025	3,41	0,192
8		2,205	0,053	2,209	0,019	2,42	0,146
10		2,455	0,112	2,489	0,040	4,57	0,342
12		2,502	0,056	2,494	0,020	2,26	0,144
14		2,580	0,095	2,564	0,034	3,69	0,293
16		2,755	0,120	2,761	0,043	4,37	0,355
18		2,665	0,119	2,614	0,042	4,46	0,292
20		2,814	0,075	2,810	0,026	2,65	0,231

Příloha KK. Modul pružnosti v tahu M200, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

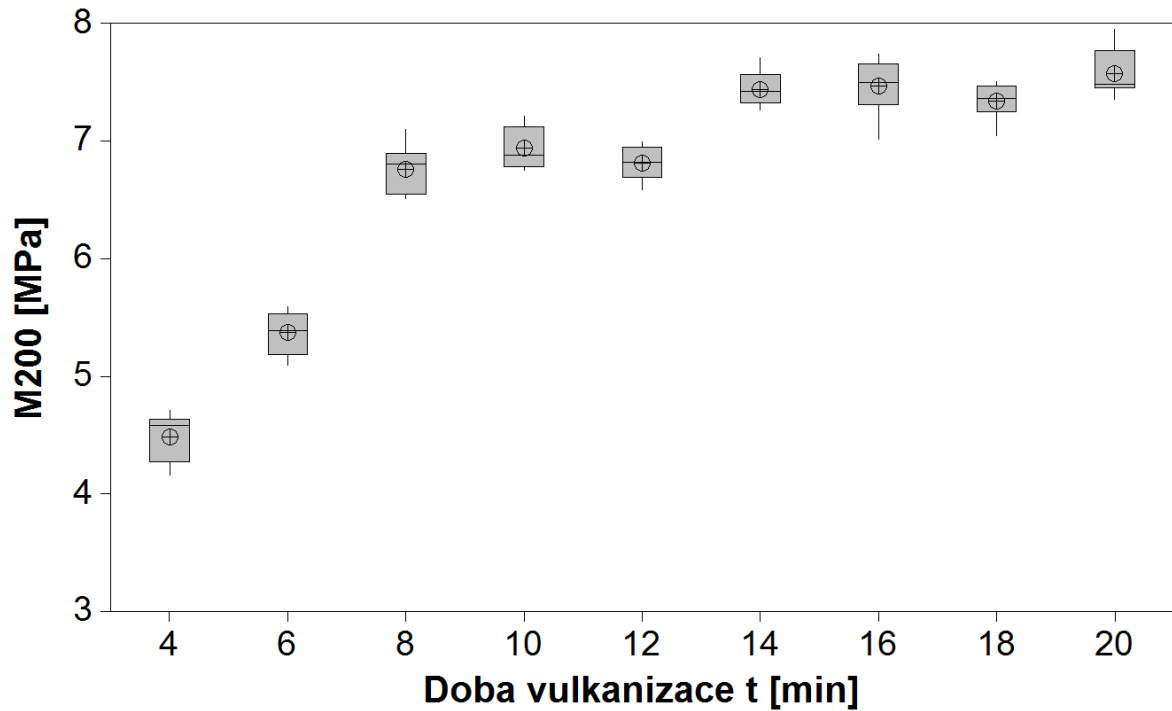


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	3,219	0,116	3,242	0,037	3,59	0,378
6		4,393	0,109	4,367	0,034	2,47	0,320
8		4,912	0,068	4,918	0,022	1,39	0,209
10		5,849	0,198	5,871	0,063	3,38	0,664
12		6,352	0,220	6,391	0,070	3,47	0,585
14		6,818	0,138	6,770	0,044	2,02	0,419
16		7,558	0,104	7,547	0,033	1,38	0,383
18		7,521	0,138	7,573	0,044	1,83	0,396
20		7,551	0,156	7,557	0,049	2,07	0,505

Příloha LL. Modul pružnosti v tahu M200, vstříkování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

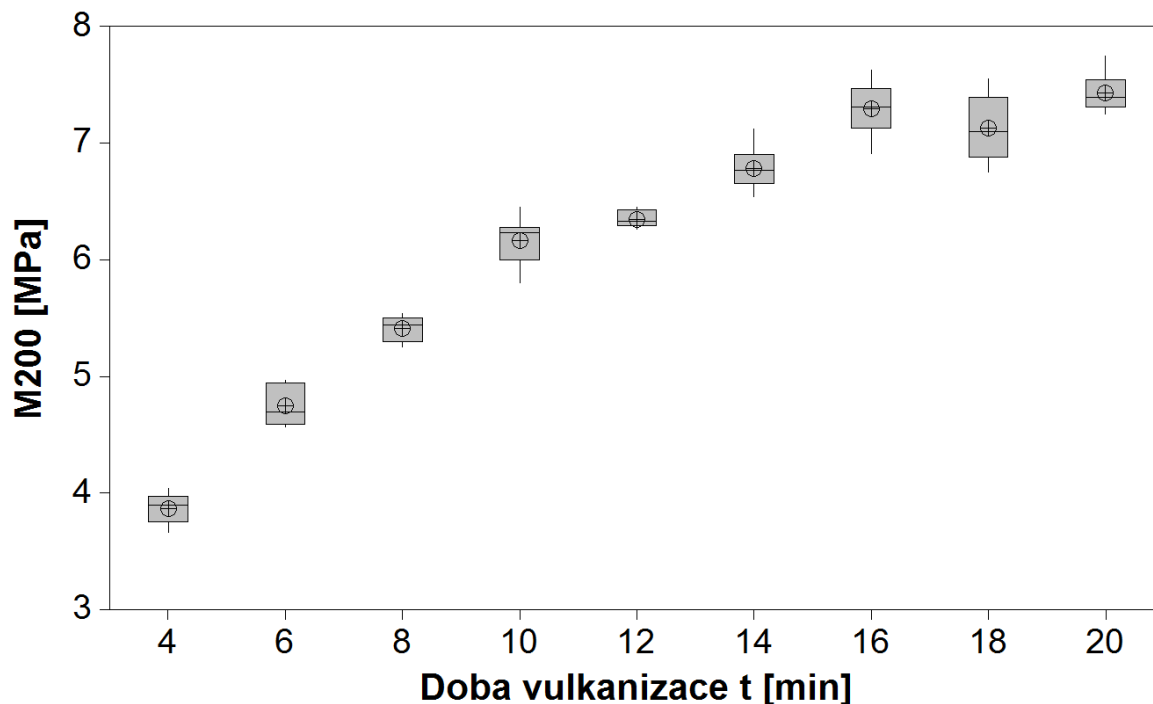


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	4,486	0,207	4,582	0,073	4,61	0,554
6		5,375	0,182	5,394	0,064	3,38	0,494
8		6,767	0,203	6,806	0,072	3,00	0,589
10		6,943	0,173	6,886	0,061	2,49	0,459
12		6,815	0,140	6,826	0,050	2,06	0,409
14		7,444	0,152	7,424	0,054	2,04	0,447
16		7,474	0,236	7,503	0,083	3,15	0,726
18		7,347	0,150	7,370	0,053	2,04	0,461
20		7,574	0,213	7,490	0,075	2,81	0,592

Příloha MM. Modul pružnosti v tahu M200, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

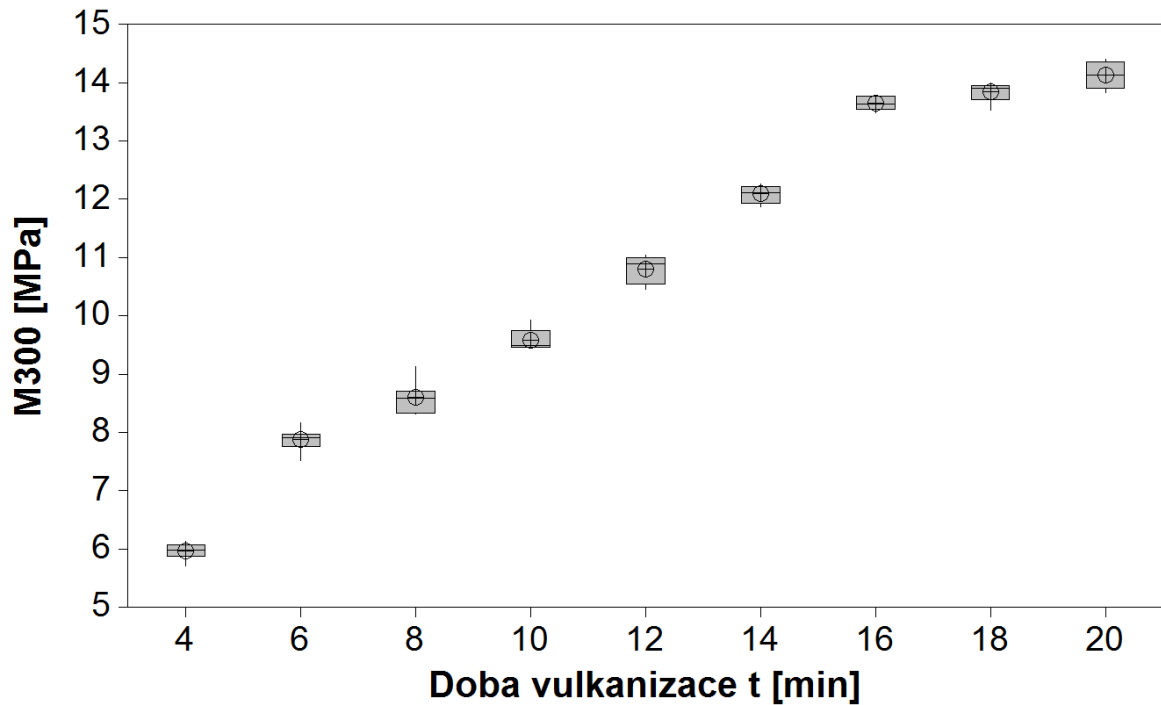


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	3,870	0,129	3,898	0,046	3,34	0,376
6		4,748	0,170	4,700	0,060	3,58	0,405
8		5,413	0,106	5,441	0,037	1,95	0,292
10		6,171	0,205	6,239	0,073	3,32	0,649
12		6,350	0,071	6,331	0,025	1,12	0,190
14		6,786	0,183	6,768	0,065	2,69	0,581
16		7,300	0,236	7,316	0,083	3,23	0,716
18		7,134	0,289	7,102	0,102	4,04	0,801
20		7,436	0,161	7,399	0,057	2,17	0,496

Příloha NN. Modul pružnosti v tahu M300, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

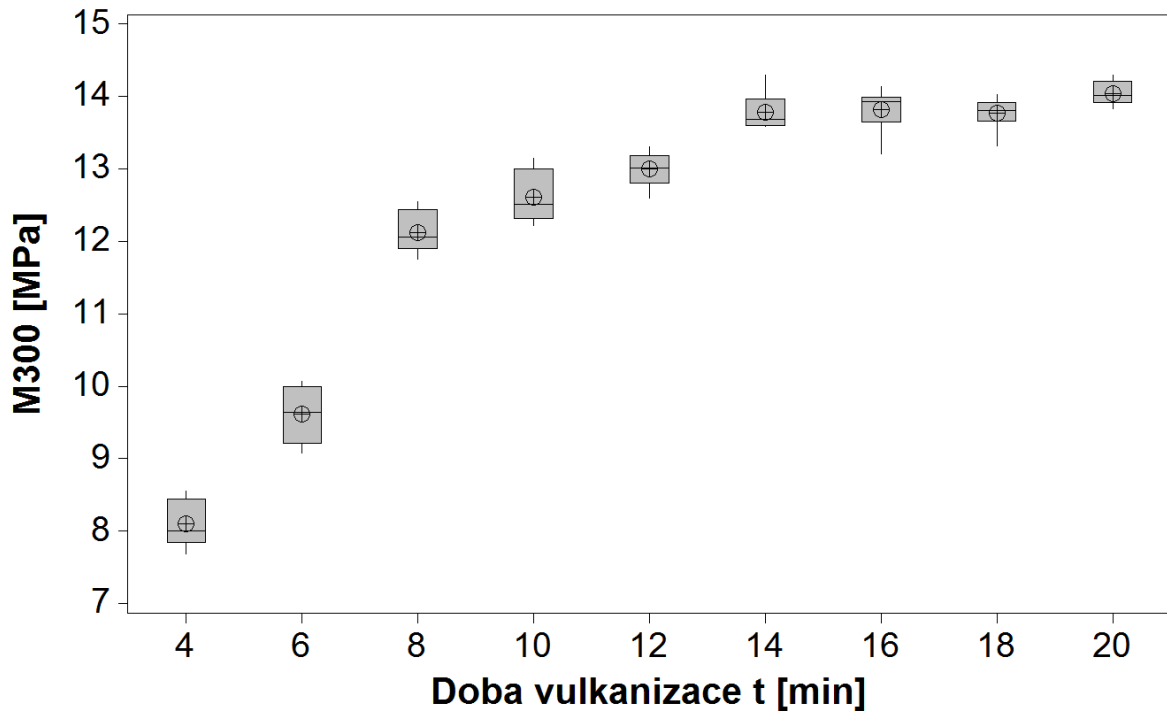


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	5,962	0,131	5,980	0,041	2,19	0,424
6		7,876	0,177	7,910	0,056	2,24	0,635
8		8,602	0,250	8,595	0,079	2,91	0,816
10		9,586	0,172	9,490	0,054	1,79	0,482
12		10,802	0,218	10,892	0,069	2,02	0,598
14		12,099	0,144	12,119	0,046	1,19	0,400
16		13,651	0,113	13,646	0,036	0,83	0,297
18		13,850	0,155	13,910	0,049	1,12	0,460
20		14,138	0,210	14,135	0,066	1,48	0,572

Příloha OO. Modul pružnosti v tahu M300, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

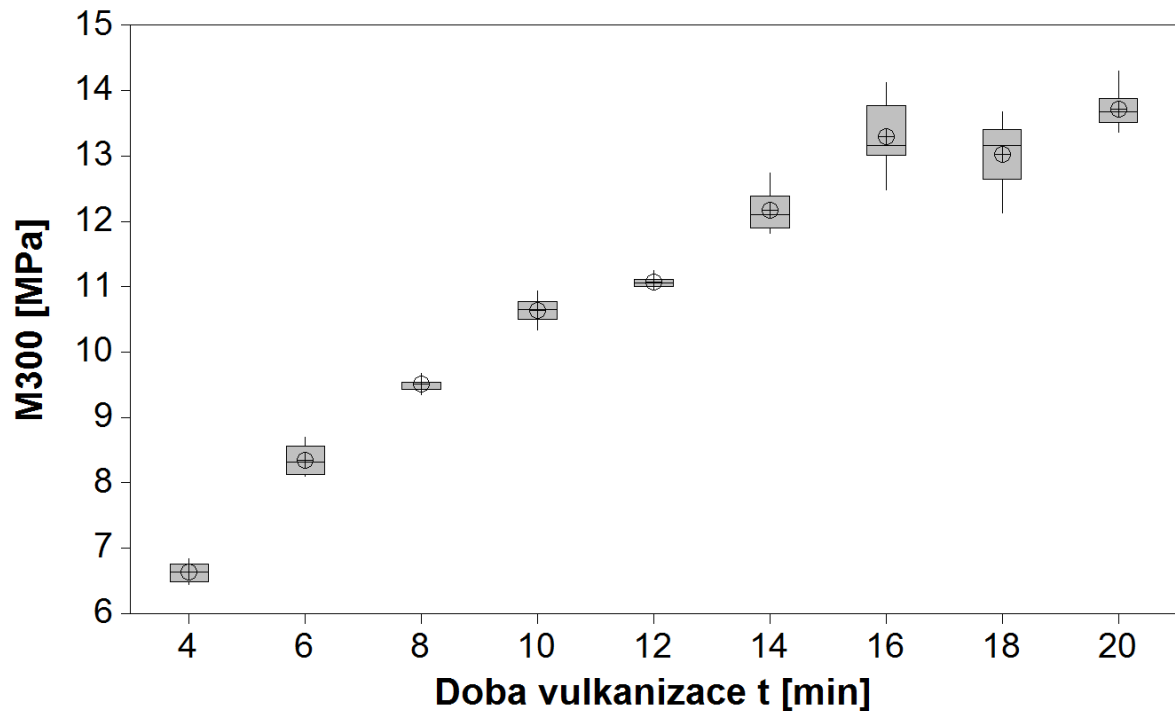


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	8,100	0,324	8,008	0,115	4,00	0,870
6		9,620	0,376	9,637	0,133	3,91	0,988
8		12,125	0,288	12,064	0,102	2,38	0,799
10		12,618	0,348	12,511	0,123	2,75	0,925
12		13,007	0,235	13,017	0,083	1,81	0,710
14		13,791	0,251	13,691	0,089	1,82	0,705
16		13,829	0,296	13,935	0,105	2,14	0,933
18		13,773	0,215	13,817	0,076	1,56	0,701
20		14,049	0,162	14,019	0,057	1,16	0,459

Příloha PP. Modul pružnosti v tahu M300, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

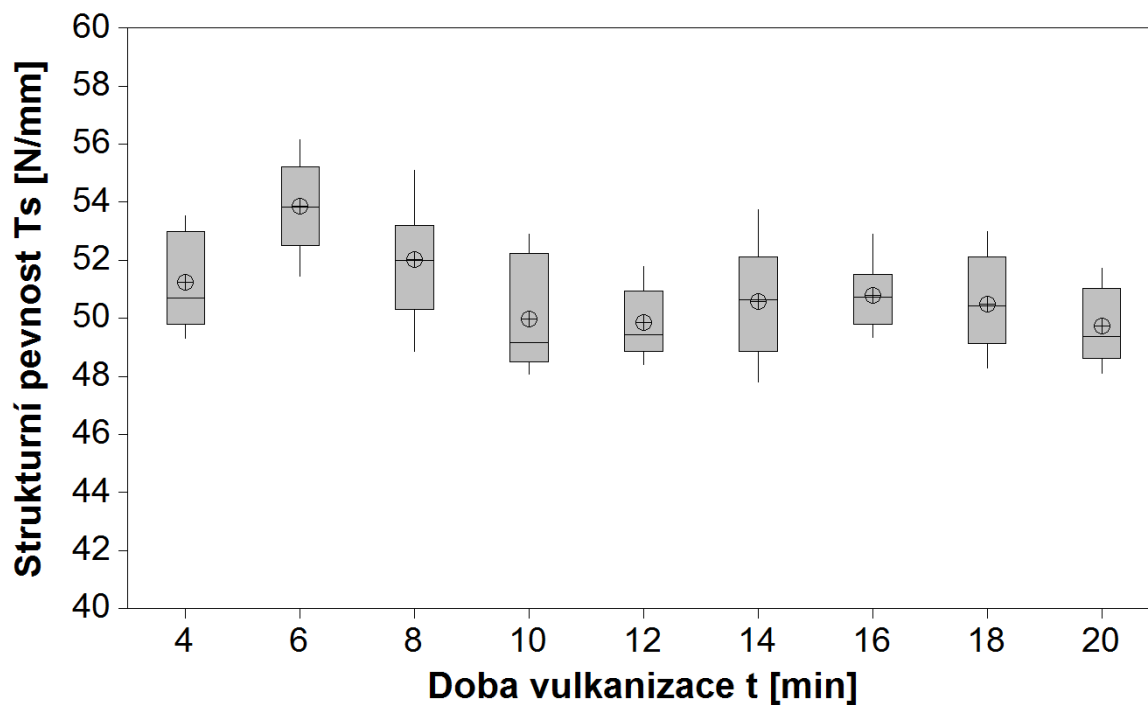


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
4	10	6,640	0,145	6,641	0,051	2,19	0,396
6		8,353	0,233	8,320	0,082	2,79	0,606
8		9,518	0,102	9,541	0,036	1,07	0,335
10		10,644	0,186	10,656	0,066	1,75	0,600
12		11,076	0,088	11,063	0,031	0,79	0,273
14		12,173	0,307	12,112	0,108	2,52	0,923
16		13,305	0,523	13,172	0,185	3,93	1,652
18		13,034	0,500	13,162	0,177	3,84	1,550
20		13,721	0,292	13,679	0,103	2,13	0,944

Příloha QQ. Strukturální pevnost, těleso graves, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

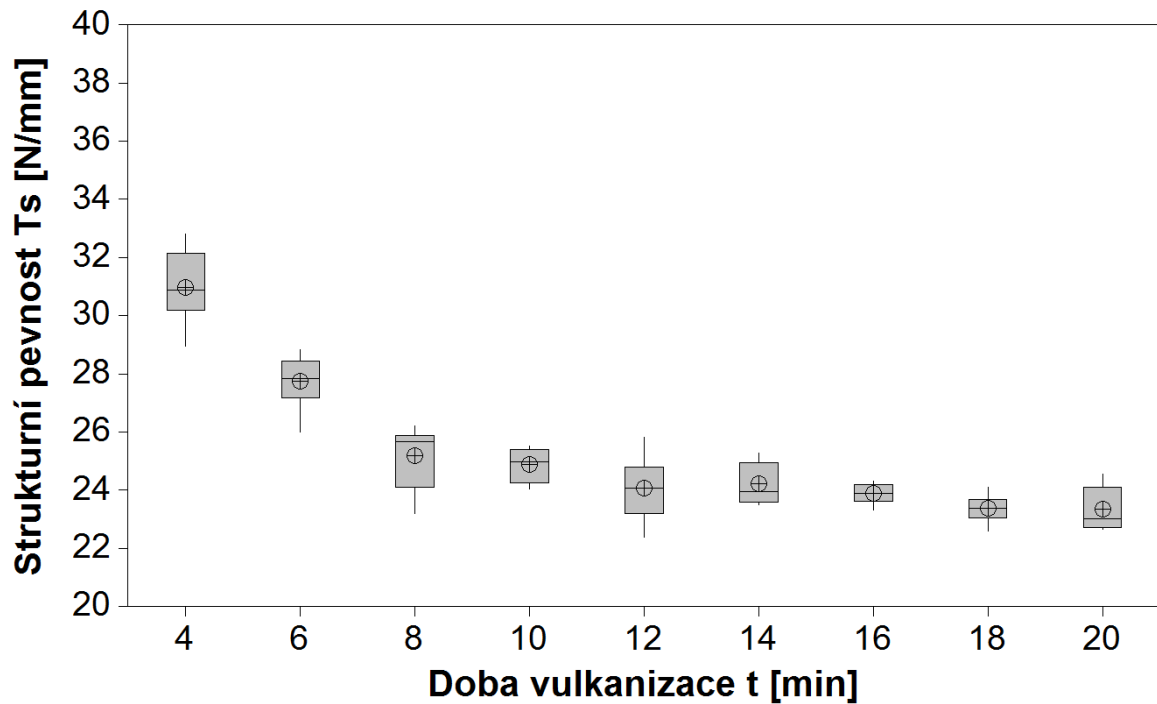


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	51,244	1,688	50,722	0,534	3,29	4,213
6		53,873	1,540	53,861	0,487	2,86	4,688
8		52,047	1,988	52,007	0,629	3,82	6,259
10		49,995	1,884	49,176	0,596	3,77	4,823
12		49,865	1,232	49,437	0,390	2,47	3,396
14		50,576	1,990	50,644	0,629	3,93	5,953
16		50,790	1,097	50,751	0,347	2,16	3,564
18		50,503	1,631	50,431	0,516	3,23	4,716
20		49,737	1,307	49,372	0,413	2,63	3,606

Příloha RR. Strukturální pevnost, těleso graves, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

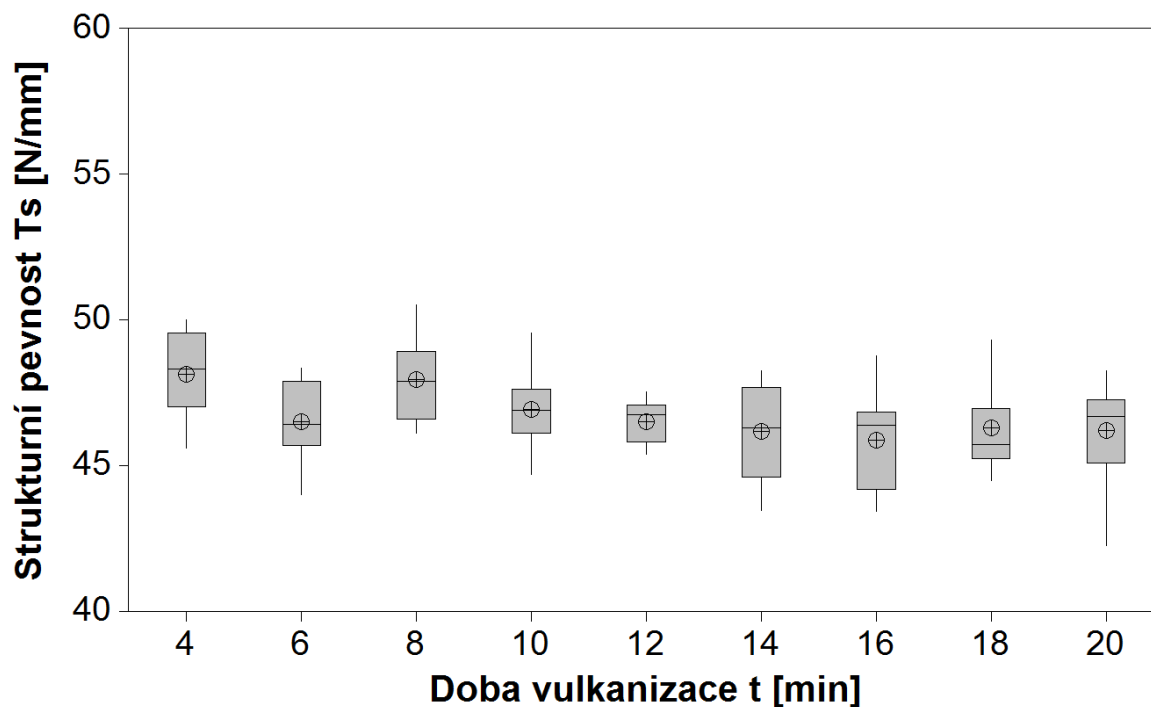


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	30,981	1,196	30,895	0,378	3,86	3,859
6		27,751	0,827	27,843	0,262	2,98	2,834
8		25,194	1,068	25,680	0,338	4,24	3,031
10		24,876	0,579	24,965	0,183	2,33	1,465
12		24,079	1,037	24,080	0,328	4,31	3,464
14		24,228	0,691	23,949	0,219	2,85	1,779
16		23,888	0,319	23,905	0,101	1,34	0,999
18		23,383	0,490	23,394	0,155	2,09	1,512
20		23,346	0,730	23,022	0,231	3,13	1,901

Příloha SS. Strukturní pevnost, těleso graves,
 vyseknutí ze vstřikované plotničky,
 směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

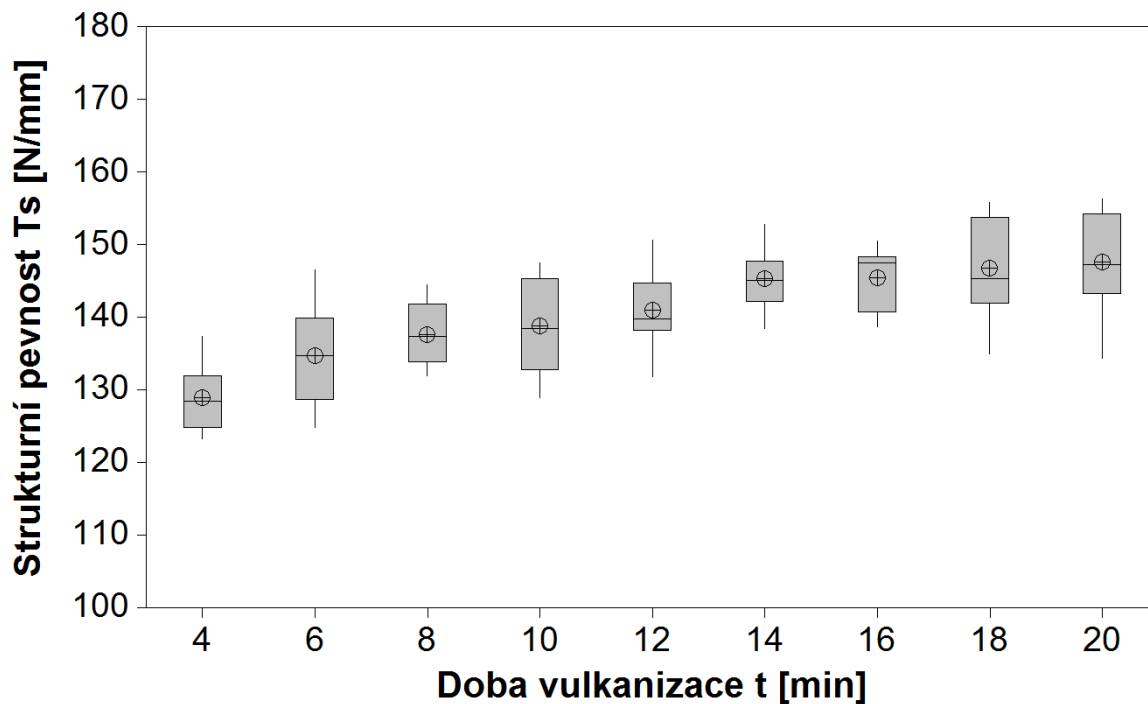


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	48,145	1,531	48,319	0,484	3,18	4,403
6		46,506	1,377	46,420	0,435	2,96	4,340
8		47,975	1,392	47,906	0,440	2,90	4,404
10		46,926	1,340	46,919	0,424	2,86	4,852
12		46,526	0,737	46,752	0,233	1,58	2,143
14		46,189	1,702	46,291	0,538	3,69	4,775
16		45,891	1,628	46,384	0,515	3,55	5,349
18		46,305	1,630	45,739	0,515	3,52	4,830
20		46,209	1,708	46,701	0,540	3,70	6,007

Příloha TT. Strukturní pevnost, těleso crescent, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

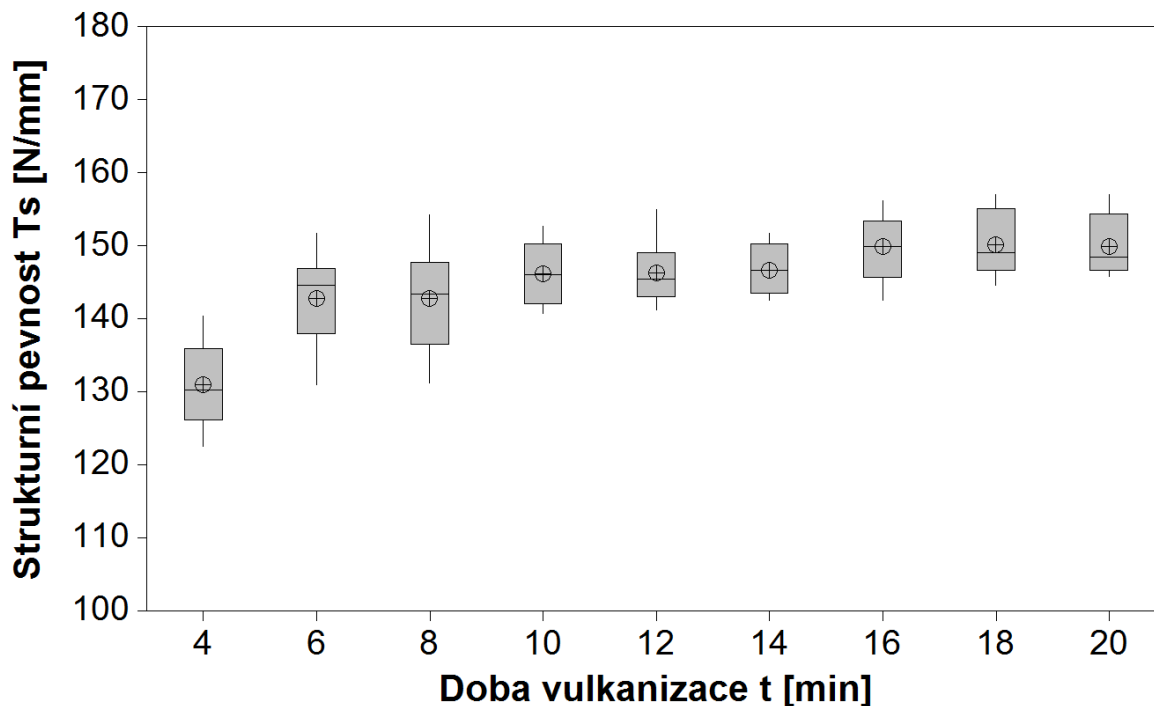


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	128,95	4,31	128,51	1,36	3,35	14,11
6		134,74	6,54	134,70	2,07	4,86	21,66
8		137,67	4,29	137,46	1,36	3,12	12,54
10		138,82	6,59	138,50	2,08	4,75	18,60
12		141,01	5,19	139,76	1,64	3,68	18,92
14		145,33	4,16	145,14	1,32	2,86	14,31
16		145,54	4,30	147,50	1,36	2,95	11,90
18		146,81	6,92	145,33	2,19	4,71	20,95
20		147,64	6,94	147,26	2,19	4,70	21,94

Příloha UU. Strukturální pevnost, těleso crescent, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

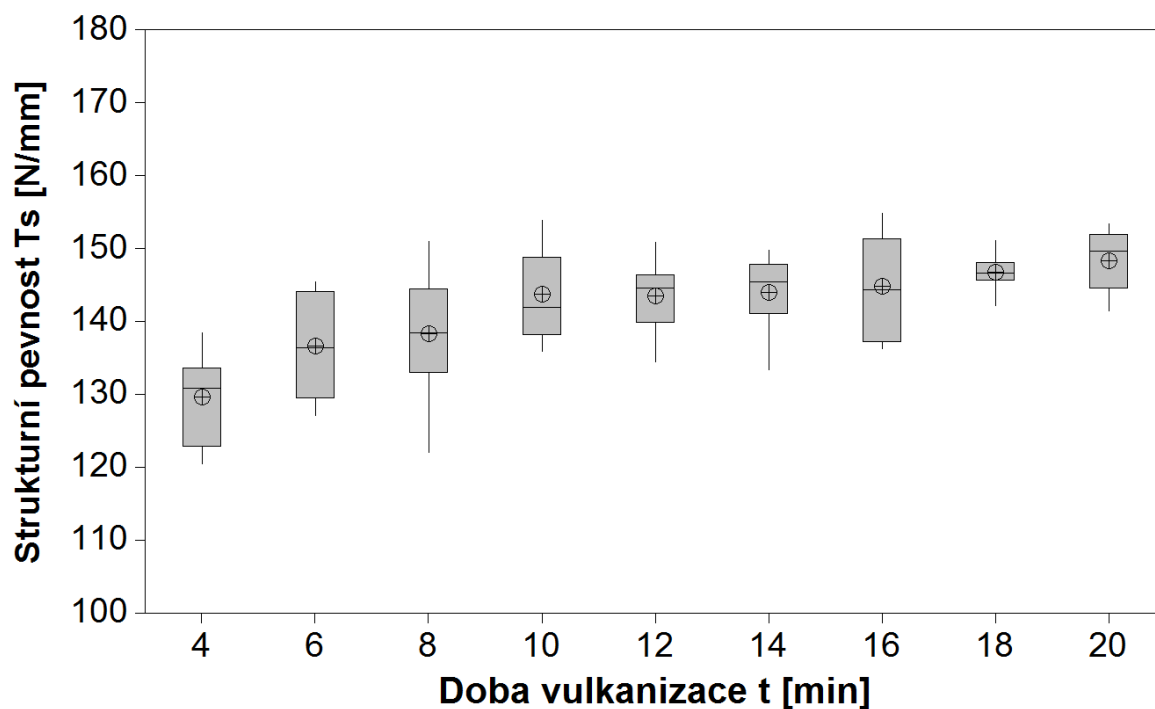


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	131,07	5,54	130,34	1,75	4,23	17,78
6		142,87	6,67	144,70	2,11	4,67	20,73
8		142,84	6,74	143,47	2,13	4,72	23,07
10		146,21	4,25	146,11	1,34	2,91	11,91
12		146,28	4,18	145,46	1,32	2,86	13,77
14		146,74	3,34	146,65	1,06	2,27	9,10
16		149,98	4,47	149,91	1,41	2,98	13,57
18		150,25	4,44	149,10	1,40	2,95	12,44
20		149,95	4,12	148,45	1,30	2,75	11,23

Příloha VV. Strukturální pevnost, těleso crescent, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

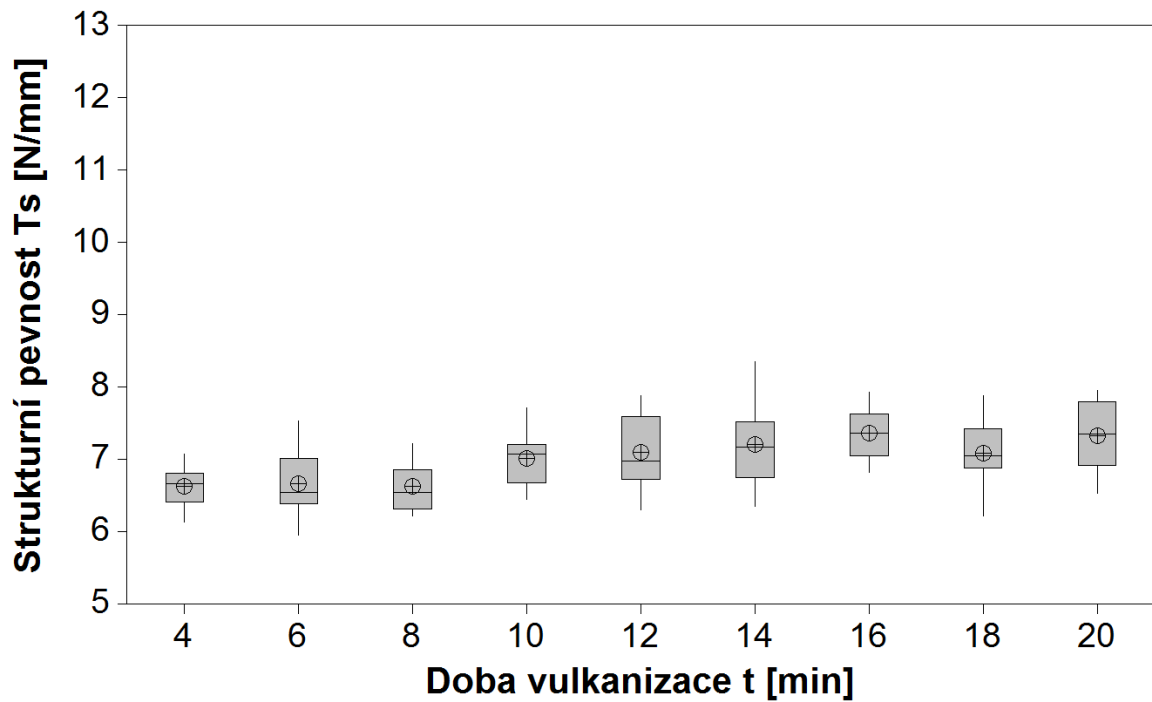


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	129,69	6,18	130,83	1,95	4,77	17,96
6		136,73	7,38	136,47	2,33	5,40	18,30
8		138,35	8,08	138,43	2,55	5,84	28,99
10		143,78	5,99	142,04	1,90	4,17	18,03
12		143,52	4,64	144,62	1,47	3,23	16,38
14		144,00	4,96	145,45	1,57	3,44	16,45
16		144,93	6,91	144,45	2,19	4,77	18,63
18		146,87	2,32	146,74	0,73	1,58	8,93
20		148,43	4,15	149,76	1,31	2,80	11,98

Příloha WW. Strukturální pevnost, těleso trouser, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

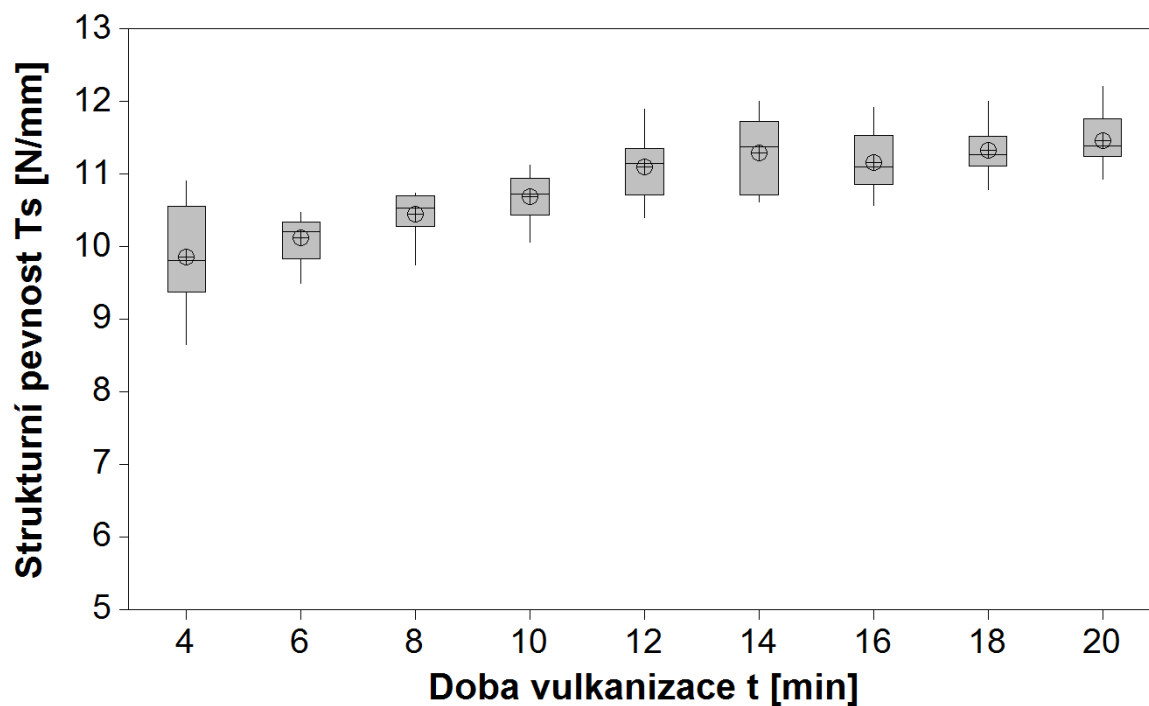


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	6,628	0,279	6,664	0,088	4,21	0,938
6		6,659	0,462	6,542	0,146	6,94	1,589
8		6,630	0,327	6,549	0,103	4,93	1,002
10		7,018	0,365	7,073	0,115	5,20	1,267
12		7,095	0,516	6,979	0,163	7,28	1,583
14		7,209	0,620	7,178	0,196	8,60	1,994
16		7,363	0,368	7,363	0,116	4,99	1,112
18		7,086	0,462	7,053	0,146	6,53	1,657
20		7,327	0,499	7,354	0,158	6,82	1,421

Příloha XX. Strukturální pevnost, těleso trouser, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

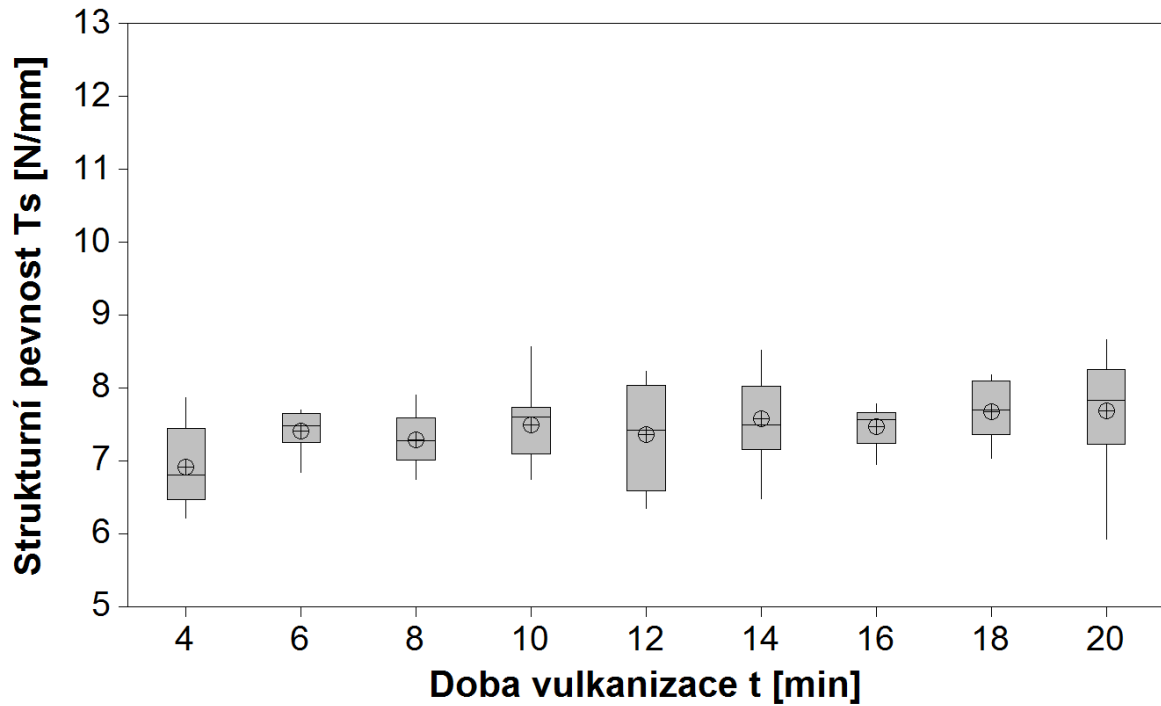


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	9,867	0,718	9,813	0,227	7,27	2,260
6		10,123	0,309	10,218	0,098	3,05	0,980
8		10,451	0,317	10,535	0,100	3,03	0,996
10		10,690	0,326	10,737	0,103	3,05	1,065
12		11,104	0,466	11,150	0,148	4,20	1,486
14		11,303	0,505	11,383	0,160	4,47	1,389
16		11,170	0,417	11,109	0,132	3,73	1,357
18		11,333	0,348	11,274	0,110	3,07	1,223
20		11,469	0,372	11,390	0,118	3,24	1,282

Příloha YY. Strukturální pevnost, těleso trouser, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

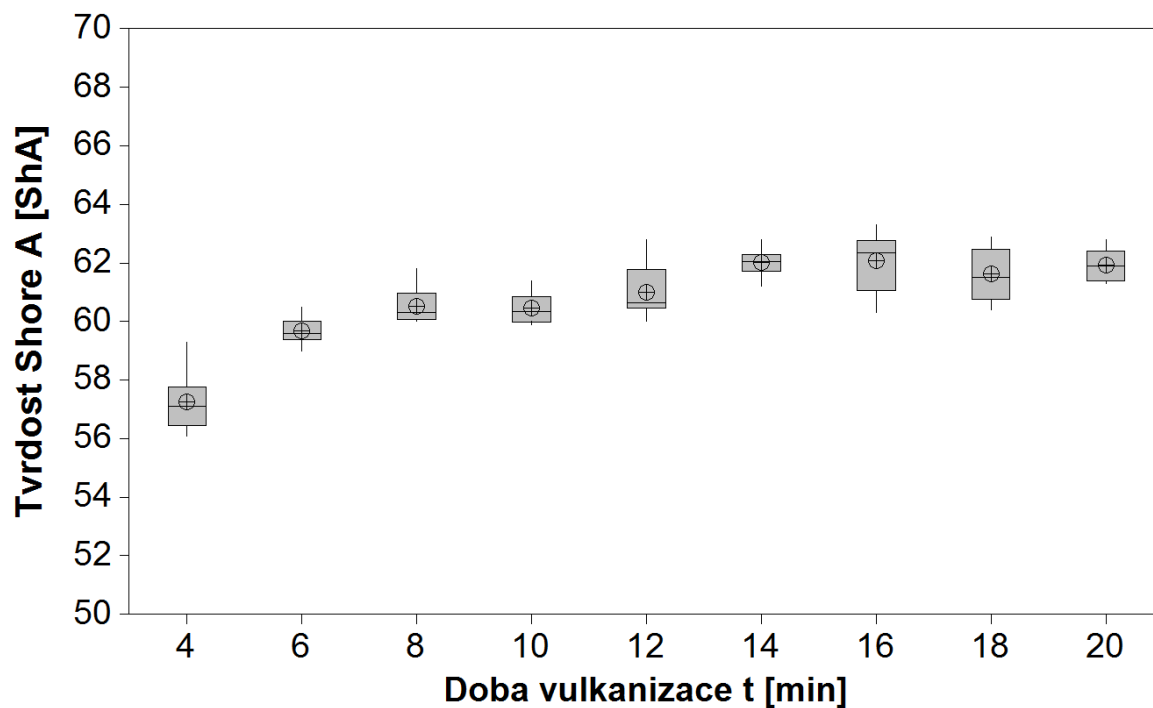


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[N/mm]	[%]	[N/mm]
4	10	6,917	0,551	6,814	0,174	7,96	1,653
6		7,417	0,280	7,487	0,089	3,77	0,862
8		7,298	0,381	7,278	0,121	5,23	1,153
10		7,493	0,529	7,604	0,167	7,06	1,813
12		7,367	0,719	7,422	0,227	9,75	1,885
14		7,578	0,591	7,502	0,187	7,80	2,049
16		7,468	0,288	7,569	0,091	3,86	0,840
18		7,683	0,394	7,707	0,124	5,12	1,151
20		7,696	0,826	7,832	0,261	10,73	2,728

Příloha ZZ. Tvrdości Shore A, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

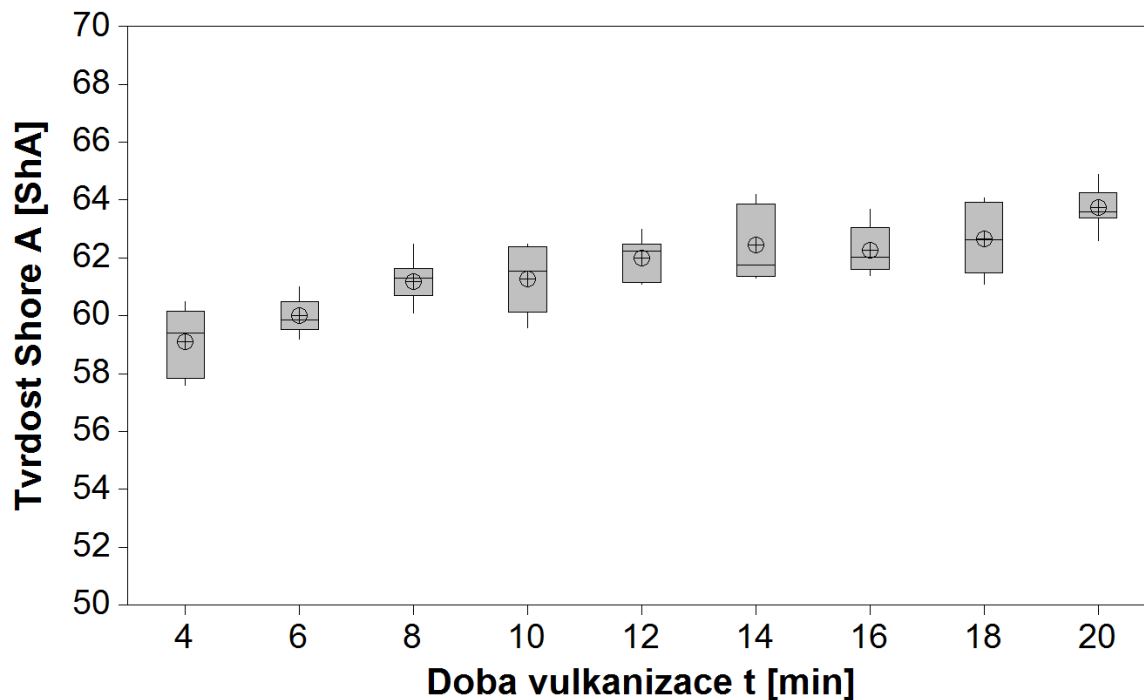


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
4	10	57,25	0,994	57,10	0,314	1,74	3,20
6		59,68	0,473	59,60	0,150	0,79	1,50
8		60,53	0,607	60,30	0,192	1,00	1,80
10		60,46	0,536	60,35	0,169	0,89	1,50
12		61,01	0,917	60,65	0,290	1,50	2,80
14		62,01	0,443	62,05	0,140	0,71	1,60
16		62,08	0,964	62,35	0,305	1,55	3,00
18		61,62	0,880	61,50	0,278	1,43	2,50
20		61,94	0,538	61,90	0,170	0,87	1,50

Příloha AAA. Tvrdomi Shore A, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

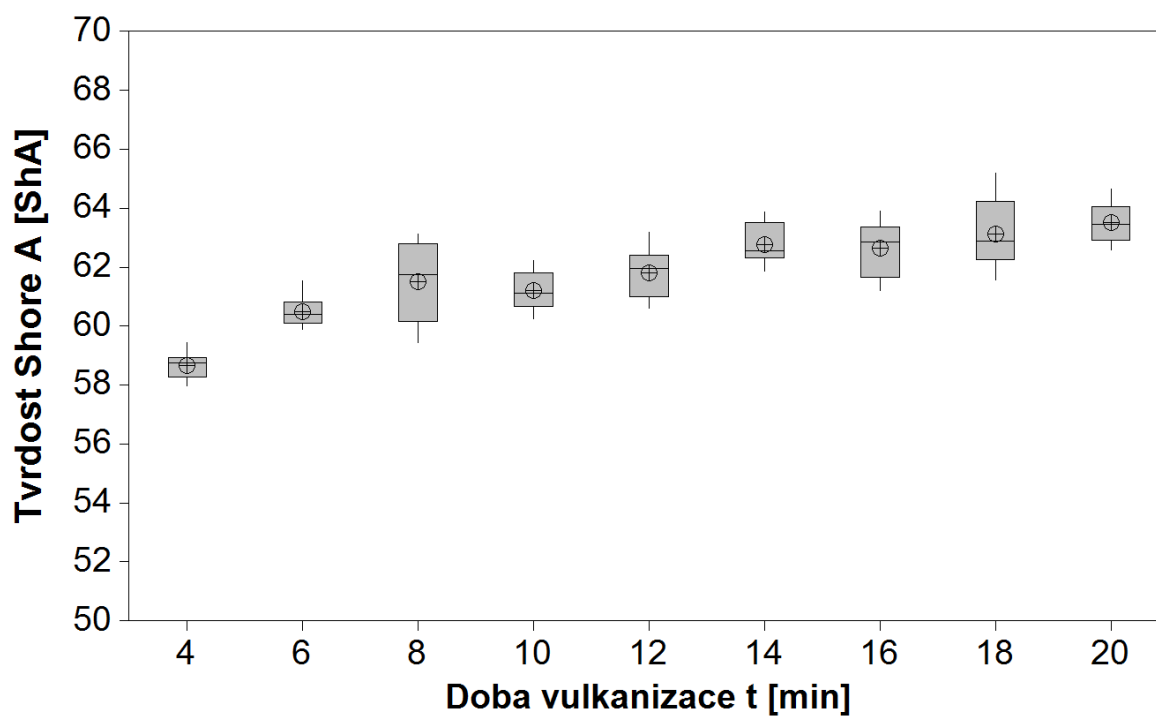


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
4	10	59,11	1,152	59,40	0,364	1,95	2,90
6		60,01	0,617	59,85	0,195	1,03	1,80
8		61,20	0,732	61,30	0,231	1,20	2,40
10		61,29	1,088	61,55	0,344	1,77	2,90
12		62,02	0,671	62,25	0,212	1,08	1,90
14		62,47	1,254	61,75	0,397	2,01	2,90
16		62,27	0,779	62,05	0,246	1,25	2,30
18		62,68	1,200	62,65	0,379	1,91	3,00
20		63,76	0,650	63,60	0,206	1,02	2,30

Příloha BBB. Tvrlosti Shore A, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

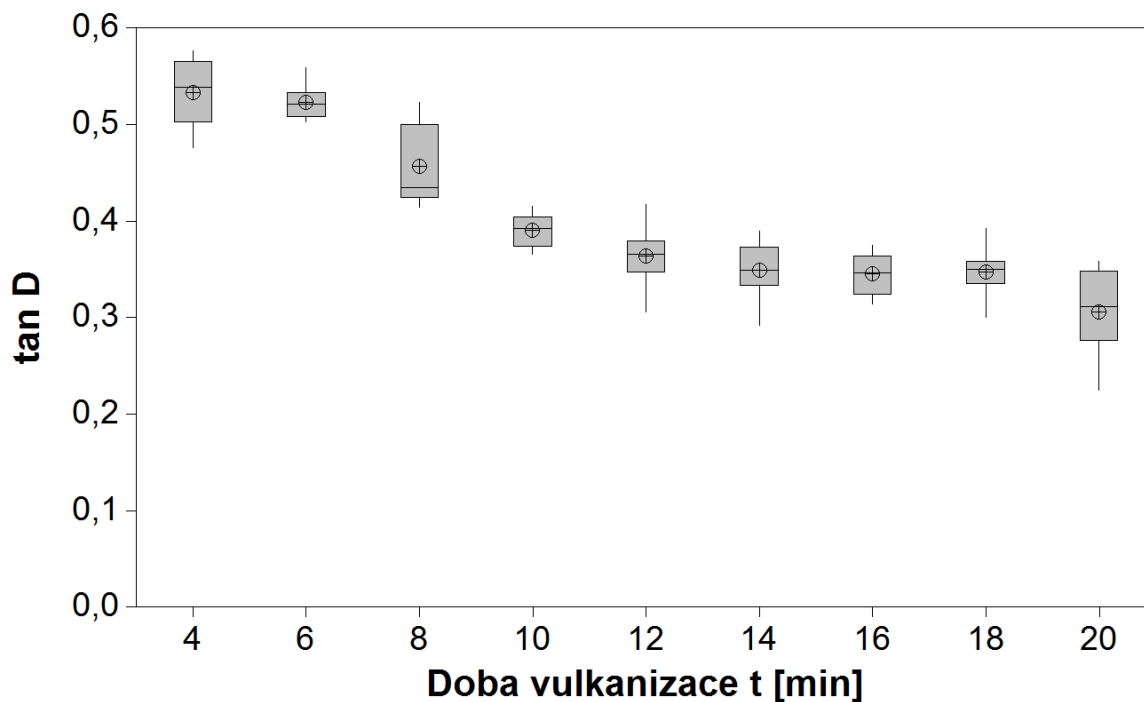


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[ShA]	[ShA]	[ShA]	[ShA]	[%]	[ShA]
4	10	58,67	0,447	58,75	0,141	0,76	1,46
6		60,50	0,496	60,41	0,157	0,82	1,64
8		61,51	1,323	61,74	0,418	2,15	3,69
10		61,22	0,665	61,12	0,210	1,09	1,97
12		61,82	0,893	61,95	0,283	1,45	2,58
14		62,79	0,661	62,57	0,209	1,05	2,01
16		62,67	0,924	62,86	0,292	1,47	2,69
18		63,12	1,154	62,89	0,365	1,83	3,64
20		63,53	0,709	63,47	0,224	1,12	2,06

Příloha CCC. Ztrátový faktor $\tan \delta$, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

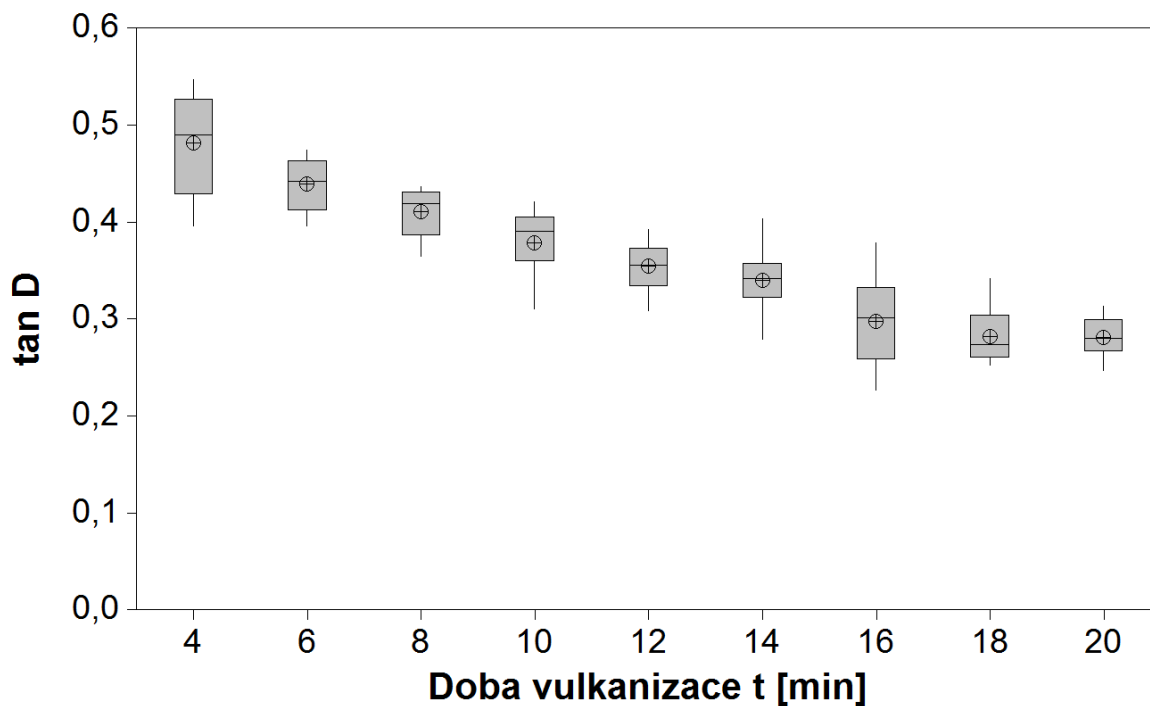


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]						[%]	
4	10	0,533	0,034	0,538	0,011	6,41	0,101
6		0,523	0,017	0,521	0,005	3,23	0,057
8		0,457	0,040	0,435	0,013	8,83	0,109
10		0,390	0,017	0,392	0,005	4,40	0,050
12		0,363	0,031	0,365	0,010	8,61	0,112
14		0,349	0,029	0,349	0,009	8,24	0,098
16		0,345	0,020	0,346	0,006	5,93	0,061
18		0,347	0,024	0,350	0,008	6,87	0,092
20		0,305	0,045	0,311	0,014	14,56	0,133

Příloha DDD. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vstřikování, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

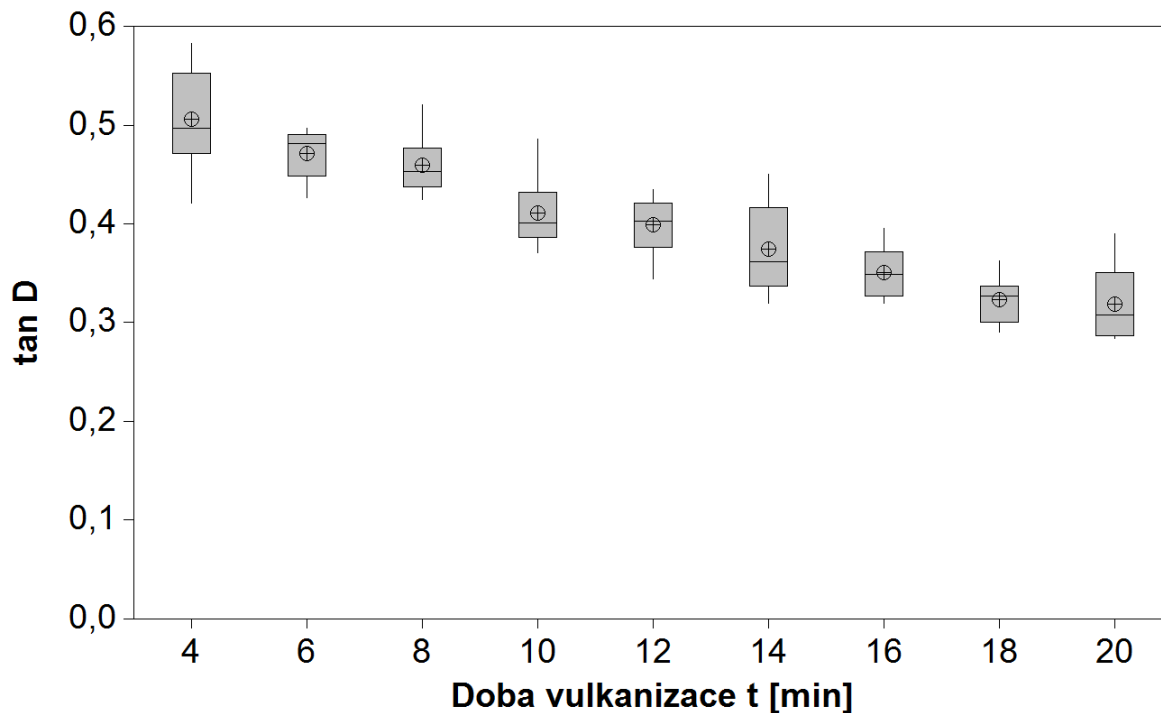


Tabulka naměřených dat

Doba vulk. [min]	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x [%]	R
4	10	0,481	0,054	0,490	0,017	11,31	0,151
6		0,439	0,027	0,442	0,009	6,21	0,078
8		0,410	0,027	0,419	0,008	6,52	0,072
10		0,379	0,039	0,390	0,012	10,16	0,111
12		0,354	0,025	0,356	0,008	7,15	0,084
14		0,339	0,033	0,342	0,011	9,81	0,125
16		0,297	0,047	0,301	0,015	15,86	0,152
18		0,282	0,028	0,273	0,009	10,05	0,089
20		0,280	0,023	0,280	0,007	8,07	0,067

Příloha EEE. Ztrátový faktor $\tan \delta$, vyseknutí ze vstříkované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

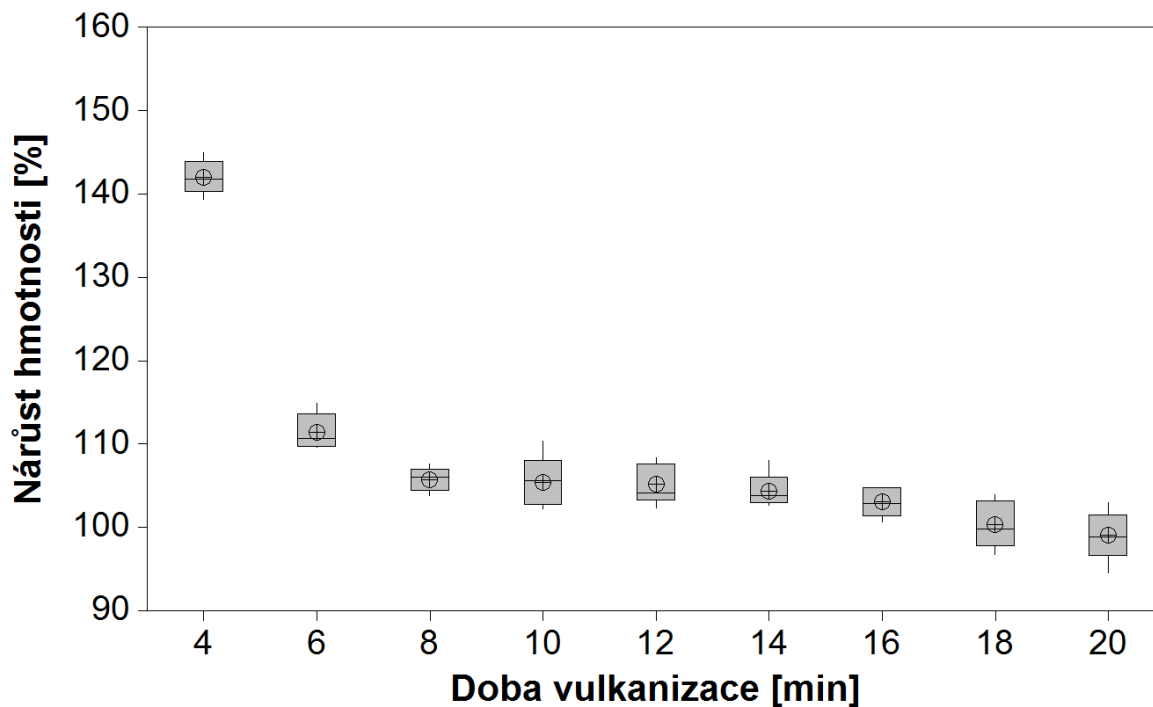


Tabulka naměřených dat

Doba vulk. [min]	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x [%]	R
4	10	0,506	0,051	0,497	0,016	10,06	0,161
6		0,471	0,025	0,481	0,008	5,26	0,070
8		0,459	0,029	0,453	0,009	6,42	0,097
10		0,411	0,036	0,401	0,011	8,75	0,116
12		0,399	0,029	0,403	0,009	7,30	0,091
14		0,374	0,045	0,362	0,014	12,03	0,131
16		0,351	0,026	0,349	0,008	7,54	0,076
18		0,323	0,023	0,327	0,007	6,98	0,072
20		0,319	0,037	0,308	0,012	11,53	0,106

Příloha FFF. Nárůst hmotnosti botnáním, standardní příprava, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

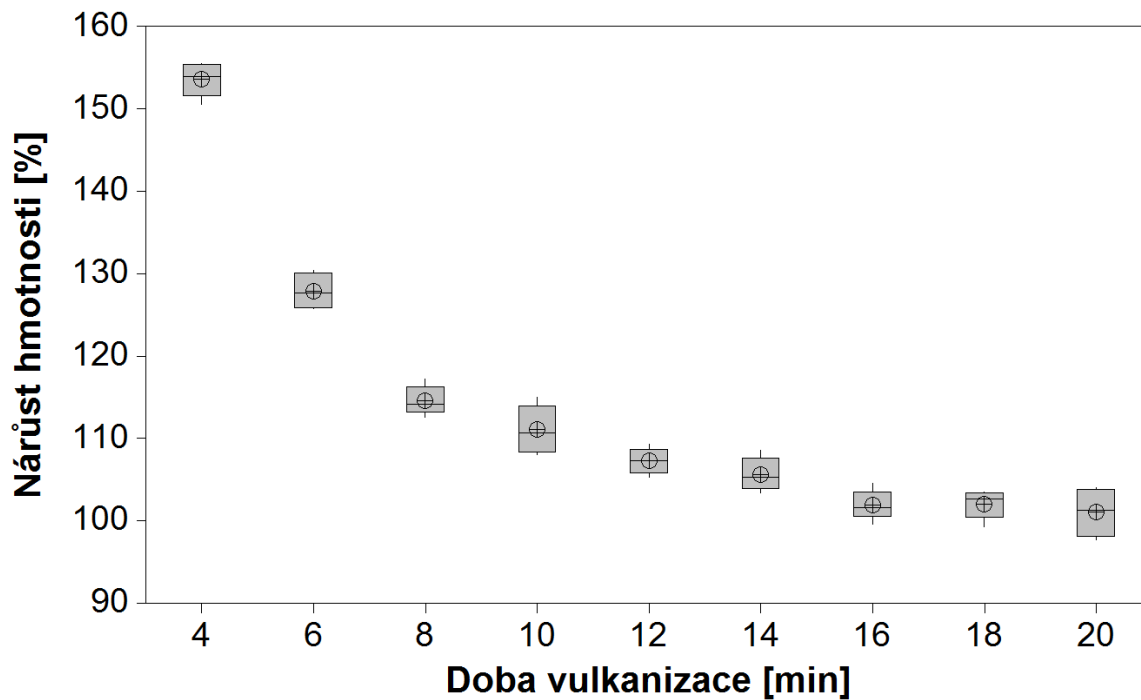


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
4	5	142,100	2,060	141,790	0,920	1,45	5,620
6		111,480	2,190	110,700	0,978	1,96	5,310
8		105,780	1,420	106,020	0,636	1,34	3,740
10		105,470	3,140	105,680	1,410	2,98	8,080
12		105,190	2,410	104,160	1,080	2,29	5,970
14		104,390	2,110	103,860	0,941	2,02	5,340
16		103,040	1,790	102,830	0,801	1,74	4,150
18		100,340	2,840	99,850	1,270	2,83	7,110
20		99,070	3,050	98,870	1,360	3,08	8,470

Příloha GGG. Nárůst hmotnosti botnáním, vstříkovaní, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat

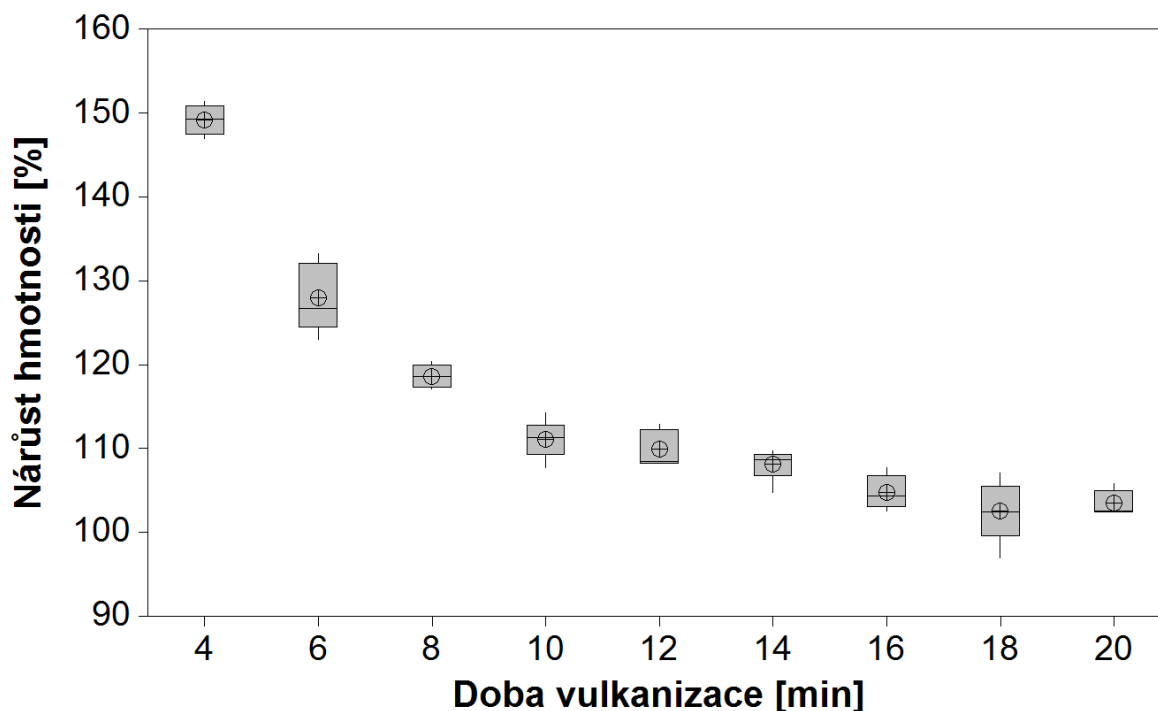


Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
4	5	153,670	2,080	153,990	0,928	1,35	5,040
6		127,920	2,130	127,730	0,953	1,67	4,620
8		114,630	1,750	114,130	0,784	1,53	4,690
10		111,070	2,940	110,660	1,320	2,65	6,970
12		107,280	1,550	107,300	0,691	1,44	4,060
14		105,670	2,010	105,350	0,901	1,91	5,170
16		101,980	1,770	101,670	0,790	1,73	4,870
18		102,090	1,740	102,630	0,776	1,70	4,200
20		101,030	2,840	101,290	1,270	2,81	6,250

Příloha HHH. Nárůst hmotnosti botnáním, vyseknutí ze vstřikované plotničky, směs EPDM

Box-plotový diagram naměřených dat



Tabulka naměřených dat

Doba vulk.	n	\bar{x}	s	\tilde{x}	u_a	v_x	R
[min]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
4	5	149,280	1,760	149,360	0,786	1,18	4,400
6		127,980	4,080	126,740	1,820	3,18	10,180
8		118,660	1,380	118,610	0,616	1,16	3,330
10		111,100	2,300	111,340	1,030	2,07	6,480
12		109,910	2,180	108,520	0,975	1,98	4,630
14		108,170	1,920	108,720	0,858	1,77	4,960
16		104,820	2,000	104,400	0,896	1,91	5,210
18		102,550	3,650	102,410	1,630	3,56	10,060
20		103,500	1,490	102,590	0,668	1,44	3,470