



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY TĚLESA KONEKTORU Z RECYKLÁTU

PRODUCTION TECHNOLOGY OF THE CONNECTOR BODY FROM RECYKLED MATERIAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Brhel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohumil Kandus

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Michal Brhel
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Bohumil Kandus
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie výroby tělesa konektoru z recyklátu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru a materiálu plastového dílce vypracovat rešerši na technologii vstřikování plastů do forem včetně vstřikování recyklátů, provést porovnání dopadu materiálů s různým podílem recyklovaného plastu na vlastnosti výstřiku plastového dílce.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je návrh technologie výroby tělesa konektoru včetně metodického zpracování a vyhodnocení vlivu materiálů s narůstajícím procentuálním podílem recyklovaného plastu vzhledem k plastu novému na požadované mechanické vlastnosti výstřiku plastového dílce doplněný technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam literatury:

Ehrig, R.J. (1992): Plastics Recycling. Carl Hanser Verlag, München.

Brandrup, J., Bittner, M., Michaeli, W. and Menges, G. (1996): Recycling and Recovery of Plastics. Carl Hanser Verlag, München.

Sova, M. a Krebs, J. (2001): Termoplasty v praxi. Verlag Dashöfer, Praha.

Avery, J. (1998): Injection Molding Alternatives. Carl Hanser Verlag, München.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

BRHEL Michal: Technologie výroby tělesa z koncentrátu

Výzkum vypracovaný během studia magisterského studia oboru Strojírenská technologie se zabývá použitím recyklovaného plastu při vstřikování plastů a jeho vlivem na mechanické vlastnosti vylisku. Zkoumané těleso je výrobkem používaným v automobilovém průmyslu jako tělo konektoru. Těleso je vyráběno z plastového materiálu, polyamidu. Roční objem výroby činí 3 000 000 kusů. Na základě testování dle normy USCAR2 byl vyhodnocen vliv regranulátu na mechanické vlastnosti a rozměry. Po technickém zhodnocení by projekt podroben také ekonomickému vyhodnocení. V tomto případě byla vypočtena úspora při použití různých obsahu recyklovaného materiálu během produkce. Závěrečné kapitoly zdůvodňují změnu vlastností a navrhuji použití recyklovaného materiálu v praxi.

Klíčová slova: plast, polyamid, vstřikování plastů, vstřikovací lis, regranulát, recyklace plastů

ABSTRACT

BRHEL Michal: Production technology of the connector body from recycled material

Study developed during the Master's degree studies of Mechanical Engineering deals with the use of recycled plastic in the injection molding and its influence on the mechanical properties of the mold. Examined product is used in the automotive industry as a connector body. The housing is manufactured from a plastic material, polyamide. The annual production volume of 3 000 000 pieces. According to tests specified in standard USCAR2 regrind influence on mechanical properties and dimensions was evaluated. After the technical evaluation of the project, research was also judged from economic point of view. In this task, savings with the different content of the recycled material during production was calculated. The final chapters justify change of properties and they are proposing the use of recycled materials in practice.

Keywords: plastics, polyamide, injection molding, injection molding machine, regranulate, plastics recycling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRHEL, M. *Technologie výroby tělesa konektoru z recyklátu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a také děkuji společnosti, která mi umožnila tuto práci zpracovat, za prostory a příležitost k uskutečnění zadaného výzkumu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD

Str.

10

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

11

1.1 Plasty

11

1.1.1 Dělení plastů

11

1.1.2 Vlastnosti plastů

13

1.1.3 Přísady a plniva

14

1.1.4 Tranzitní teploty

15

1.2 Polyamidy, PA

16

1.2.1 Výroba

16

1.2.2 Vlastnosti PA

16

1.2.3 Využití

17

1.3 Zkoumané těleso

17

1.3.1 Design výrobku

17

1.3.2 Využití

18

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

19

2.1 Příprava materiálu

19

2.1.1 Vstupní kontrola

19

2.1.2 Sušení materiálu

20

2.2 Vstřikovací stroj

20

2.2.1 Vstřikovací jednotka

20

2.2.2 Uzavírací jednotka

21

2.2.3 Vstřikovací forma

21

2.2.5 Vstřikovací cyklus

24

2.2 Využití regranulátu

25

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

26

3.1 Použité stroje a zařízení

26

3.1.1 Stroje pro výrobu

26

3.1.2 Technologický postup výroby

27

3.2 Výsledky měření	28
3.2.1 Mechanické zkoušky	29
3.2.2 Environmentální zkoušky	42
3.2.3 Porovnání rozměrů	48
4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	51
4.1 Ekonomické zhodnocení	51
4.2 Technické zhodnocení	53
5 ZÁVĚRY	56
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh, obrázků a tabulek	

ÚVOD [1]

Každý člověk je plasty obklopen na každém svém kroku. Zasahují do všech odvětví průmyslu od potravinářství, elektroniku, dopravu až po strojírenství a stavebnictví.

Plasty jsou v dnešní době jeden z nejdůležitějších materiálů. V několika posledních desetiletích zaznamenaly obrovský rozvoj. Díky svým vlastnostem dokáží nahradit klasické materiály. Mezi nejdůležitější výhody patří jejich hmotnost, cena a zároveň výborné mechanické vlastnosti. Díky nízké hmotnosti jsou plasty velmi využívány v automobilech, kde tvoří asi 15% hmotnosti. Automotive je tak nejdůležitější obor pro další zdokonalování. Hlavní výzkum se zaměřuje na další zlepšení vlastností, jako jsou tepelná a chemická odolnost.

Kromě úspory hmotnosti v automobilu je trendem jejich využití i v dalších oblastech dopravy, kde jsou kladeny vysoké nároky na spotřebu paliva. Jelikož platí úměra mezi hmotností a spotřebou mají plasty velký potenciál i v leteckém průmyslu. První sériově vyráběné letadlo, které využívá plastu místo kovu je Boing 787 Dreamliner, kde došlo ke snížení hmotnosti až o 10 tun.

Obavy při využívání plastů plynou z jejich neslučitelnosti s životním prostředím. Uměle vyrobené plasty nejsou jednoduše rozložitelné a čas rozpadu se může protáhnout až na několik stovek let. Na druhou stranu byly vyvinuty i plasty, které se dokáží rozložit i za pár dnů. Tyto plasty bohužel nevykazují tak dobré vlastnosti jako ty standardní. Jedním z možností recyklace je jejich znovupoužití v další výrobě, čímž se zabývá tato práce.



Obr. 0.1 Ukázka využití plastů
[19]

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

Problematika, kterou se zabývá tato práce, byla zadána nadnárodní společností, zabývající se konektivitou elektrických sítí ve všech oborech průmyslu. Prověřovaný konektor patří do portfolia pro automobilový průmysl a jeho finální verze je využita u několika velkých koncernových společností.

Základním požadavkem bylo ověření vhodnosti technologie výroby vzhledem k ostatním možnostem a zejména výzkum vlivu znovupoužití recyklovaného materiálu na mechanické, environmentální a chemické vlastnosti při různém procentuálním obsahu regenerovaného materiálu. Jelikož je díl v době vytváření práce již ve výrobě, není v zadání požadavek na vytváření formy. Pro nahlédnutí do problematiky se práce věnuje nejdříve teorii v oboru zpracování plastů.

1.1 Plasty [2][3][4][12]

Základní stavební částí plastů jsou polymery. Jedná se o makromolekulární látky tvořené opakováním jedné nebo více základních molekul – merů. Primárním prvkem, který tvoří tyto molekuly je uhlík. Ten je díky svým vlastnostem schopen vytvářet až čtyři kovalentní vazby, které dokáží propojit další atomy uhlíku a tím dochází k řetězení.

1.1.1 Dělení plastů [2][3][4][5][8]

Plasty můžeme rozdělit do několika kategorií. Zde jsou uvedeny nejdůležitější:

Dle typu chemické reakce

- Polykondenzace

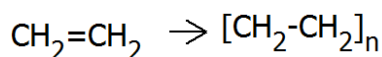
Polykondenzace je reakce, při které dochází ke slučování dvou různých molekul za vzniku polymerního řetězce a odštěpeného kondenzátu.

- Polyadice

Polyadiční reakcí vzniká řetězec ze dvou různých sloučenin podobně jako u předchozího typu. Na rozdíl od polykondenzace zde nedochází ke vzniku vedlejšího produktu.

- Polymerace

Do této reakce vstupuje jako komponent jednoduchá nízkomolekulární sloučenina. Působením vysokých teplot, tlaků a katalyzátorů dochází ke štěpení násobných vazeb uvnitř sloučeniny a tím ke vzniku meru. Jednotlivé mery jsou pak vysoce reaktivní a vzájemně se slučují. Touto reakcí vzniká například polyetylen PE.



Dle tvaru makromolekul

- Lineární

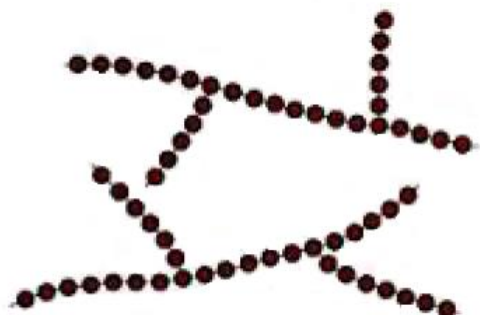
Řetězce polymeru jsou uspořádány v rovných, nahodile uspořádaných řadách bez větvení, jak lze vidět na obrázku 1.1. Díky jednoduchému tvaru je možné řetězce přiblížit a tím dosáhnout vyšší hustoty materiálu. Dalšími důležitými vlastnostmi tohoto typu jsou horší odolnost vůči chemikáliím, lepší tepelná odolnost a lepší mechanické vlastnosti než mají ostatní typy makromolekul. Typickými zástupci jsou polyetylen (PE) a polyvinylchlorid (PVC).



Obr. 1.1 Lineární uspořádání polymeru [8]

- Rozvětvené

Na rozdíl od lineárních makromolekul dochází u rozvětvených k výstupu bočních větví, viz obr. 1.2. Rozvětvení způsobuje horší pohyblivost a tím horší tečení materiálu v roztavené formě. Rozvětvené polymery se vyznačují horší tepelnou odolností. Do této skupiny patří například nízko hustotní polyetylen (LDPE).



Obr. 1.2 Rozvětvené uspořádání polymeru [8]

- Síťované

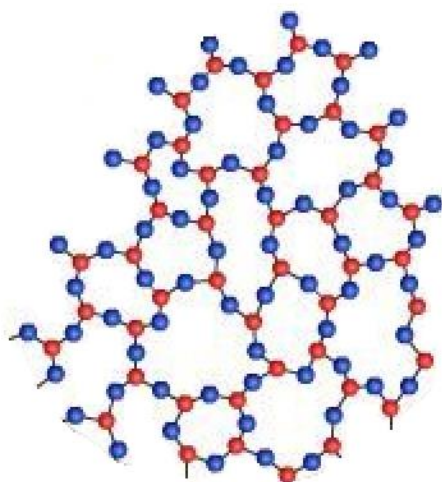
U tohoto typu makromolekul jsou jednotlivé hlavní řetězce nebo jejich větve navzájem propojeny vazbami, čímž vytvoří prostorovou síť. Takto uspořádané polymery jsou nerozpustné a netavitelné, mají vysokou tuhost a tvrdost. Dokáží také odolávat vyšším teplotám, ale vykazují nízkou odolnost proti rázům. Zástupci síťované struktury jsou veškeré reaktoplasty a vulkanizované kaučuky.

Dle nadmolekulární struktury, morfologie

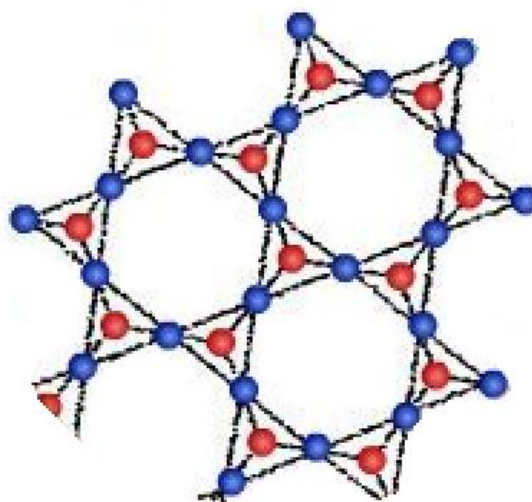
Následující dělení lze uplatnit pouze u termoplastů. Jak už bylo uvedeno reaktoplasty a elastomery se vyskytují pouze v síťovaných strukturách, proto nemohou nabývat následujících morfologií.

- Amorfní

Uspořádání molekul je nahodilé a v prostoru nelze definovat opakující se strukturu. Takovou strukturu lze pozorovat na obrázku 1.3a. Tyto polymery jsou v přírodním stavu průhledné, křehké a velmi pevné. Jsou také odolné proti creepu a smrštění po zpracování je menší než 1%. Navíc je smrštění stejné ve všech směrech. Jako amorfní jsou mimo jiné označeny tyto sloučeniny – PE, PP, PS, PMMA.



a)



b)

Obr. 1.3 Typy morfologie [7]:
a) amorfní, b) semikrystalická

- Semikrystalické

V prostoru se vyskytují oblasti, ve kterých převládá krystalická struktura. Při pohledu z vyšší hladiny získávají krystalické oblasti morfologii amorfní, schéma zobrazeno na obr. 1.3b. Relativní podíl mezi objemy krystalické a amorfní morfologie je popsán stupněm krystalinity [%]. Mezi důležité vlastnosti semikrystalických plastů patří dobrá houževnatost, odolnost proti otěru, výborná chemická odolnost a dobrá tvarová stálost. V přírodním stavu mají bílou barvu. Oproti amorfním plastům je smrštění větší a závisí na směru toku. Pokud dojde k opětovnému roztavení plastu, je důležité aby semikrystalická struktura znovu narostla.

Dle chování za vyšších teplot

- Termoplasty

Při zvyšování teploty postupně přechází do plastického stavu a jsou tak velmi dobře tvářitelné. Hraniční teplota pro přechod do a z tuhého stavu se nazývá teplota měknutí T_m , respektive teplota vizkózního toku T_f pro amorfní polymery. Proces změny skupenství je fyzikální reakce. Nedochází tedy ke změně chemického složení a proces se může opakovat téměř bez omezení.

- Reaktoplasty

V průběhu zahřívání plast nejdříve měkne a lze ho tvářet. Během dalšího zahřívání, ale dochází k chemické reakci a ve struktuře polymeru nastane síťování. Po této reakci je výrobek vytvrzený a děj je nevratný. Reaktoplasty, které již mají síťovanou strukturu nelze roztavit ani rozpustit a opětovným ohřevem dojde k významné degradaci hmoty.

- Kaučuky, Elastomery

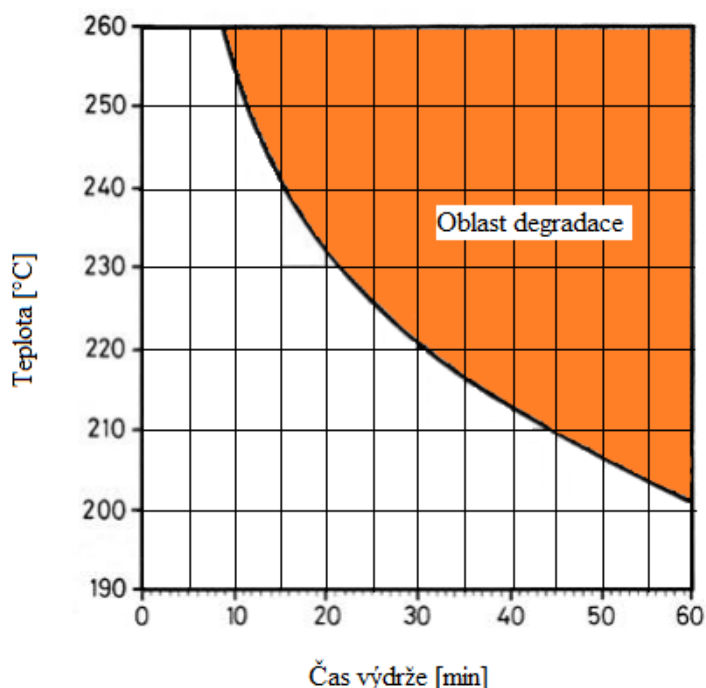
Stejně jako u reaktoplastů, jsou tyto polymery nejdříve měkké a lehce tvářitelné. Při dalším zahřívání dojde k vulkanizaci a struktura se stane částečně síťovaná. Tato struktura má výborné elastické vlastnosti.

1.1.2 Vlastnosti plastů [7][9]

Vlastnosti plastů jsou dány druhem meru a typem struktury. Dále závisí také na okolí, hlavně na teplotě, vlhkosti a dalších atmosférických podmínkách. Mezi hlavní pozorované vlastnosti patří degradace za tepla, smrštění a absorpce vody.

- Degradace

Působením tepla dochází k rozpadu polymerních řetězců. Při zpracování je tedy důležité hlídat teplotu a čas výdrže na této teplotě. Závislost času výdrže a teploty lze vidět v grafu na obrázku 1.4.



1.4 Graf tepelné stability [7]

- Smrštění

Při ochlazování plastu dochází ke zmenšování objemu – smrštění. Smrštění materiálu je jeho důležitá vlastnost, která je podstatná už při návrhu formy. Velikost smrštění je vyjádřena poměrem rozměrů dutiny formy a konečné velikosti výrobku. V praxi se smrštění dělí na dva typy - výrobní, které se stanovuje 24 hodin po odformování a dodatečné, které se měří až 168 hodin po dokončení výroby. Dodatečné smrštění není konstantní a závisí na druhu plastu. Celkové smrštění je možno ovlivnit změnou mnoha parametrů. Největších rozdílů se dosahuje při navrhování různé tloušťky stěny, tvaru dílu a druhu plniva. Různé smrštění je možné pozorovat také v různých směrech tečení materiálu. Z technologického pohledu se smrštění ovlivňuje teplotou a tlakem. Obecně platí závislost, čím vyšší tlak tím nižší smrštění a čím vyšší teplota tím vyšší smrštění.

- Navlhavost a nasákavost

Navlhavost je jev, kdy plast absorbuje vodu z ovzduší. Oproti tomu nasákavost je schopnost přijímat vodu v kapalném skupenství. Pro každý typ plastu je definována maximální povolená vlhkost pro zpracování. Aby se předcházelo chybám z důvodu vysoké vlhkosti, zařazuje se před plastifikační jednotku stroje zařízení pro sušení materiálu. Po odformování plast opět začne přijímat vlhkost. Dojde tedy ke změně rozměrů a poklesu mechanických, tepelných i elektrických vlastností.

1.1.3 Přísady a plniva [7][9][10]

Aby bylo možno dosáhnout lepších vlastností plastových materiálů, přidávají se k polymerům různé typy přísad a plniv.

Plniva

Mezi plniva se řadí části materiálu, které nejsou v plastu rozpustné a významně ovlivňují mechanické vlastnosti, odolnost a elektrickou vodivost. Různé druhy plniv mají vliv i na smrštění, kde se odvíjí od tvaru plniva. Mezi nejpoužívanější tvary plniv patří:

- Globulární a kubické – ovlivňují vlastnosti ve všech směrech. Jedná se například o skleněné a bronzové kuličky.
- Vločkové, destičkové – dvoudimensionální plniva, např. vločky mastku a grafitu.
- Vláknavité – jednodimensionální plniva. Do této kategorie patří skleněná, karbonová a vlákna z celulózy.

Nevýhodou plniv je ovlivňování zpracovatelnosti a jejich abrazivní účinek na formu.

Přísady

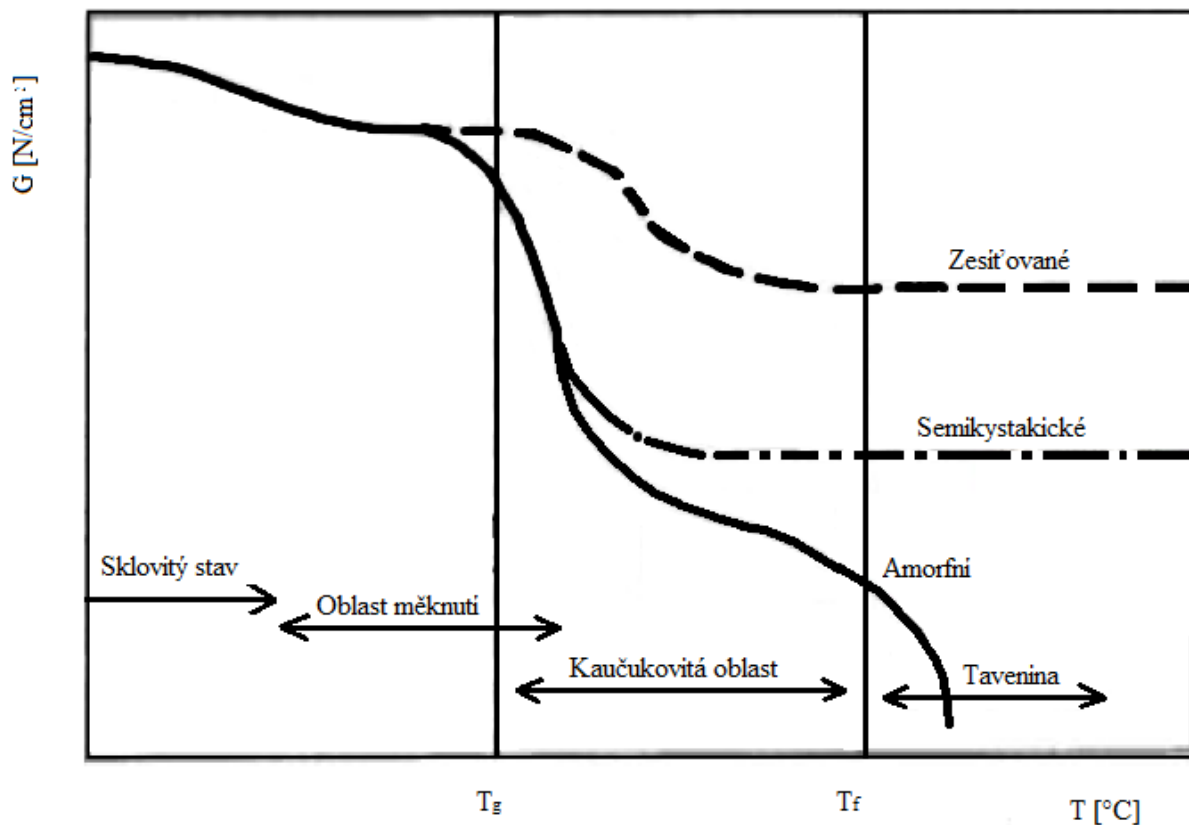
Na rozdíl od plniv jsou přísady rozpustné. Různými přísadami se ovlivňují chemické vlastnosti a možnost zpracovatelnosti.

- Stabilizátory – chrání materiál před degradací, zvyšují stabilitu a odolnost proti různým typům stárnutí.
- Retardéry hoření – snižují schopnost hoření materiálu.
- Maziva – umožňují lepší tečení materiálu tím, že sniží tření uvnitř taveniny. Možností je také využití maziva, které se vylučuje na povrch plastu a tím umožňuje lepší tečení ve formě a poté i odformování.
- Barviva
- Plastifikátory – Snižují teplotu skelného přechodu a zlepšují houževnost.

1.1.4 Tranzitní teploty [2][4]

Tranzitní neboli přechodové teploty, jsou teploty, které definují oblasti různého skupenství polymeru. Rozlišují se tři teploty:

- T_g Teplota skelného přechodu
- T_f Teplota viskózního toku u amorfních plastů
- T_m Teplota tání krystalů u semikrystalických plastů



Obr. 1.5 Vliv teploty na modul pružnosti ve smyku [2]

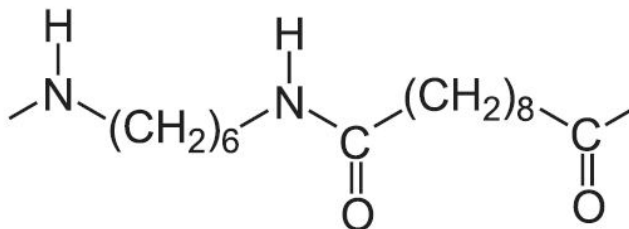
Na obrázku 1.5 jsou zobrazeny jednotlivé přechodové teploty v grafu závislosti modulu pružnosti na teplotě. Z grafu lze také pozorovat tři stavy, ve kterých se polymer může nacházet:

- Sklovitý
- Kaučukový
- Tavenina

Reaktoplasty a elastomery přechod do plastického jevu nevykazují. Při vyšší teplotě dochází k jejich degradaci.

1.2 Polyamidy, PA [1][7][11]

Materiál zkoumaný v této práci nese označení polyamid 66, zkráceně PA s 13% plněním skleněnými vlákny. Polyamid patří mezi nejrozšířenější polymery z důvodu vyvážených vlastností a ceny. V praxi existuje několik typů polyamidů lišící se počtem atomů uhlíku v monomerní jednotce řetězce. Právě tento počet označuje číslo v názvu polymeru. Jeho chemický vzorec vidíme na obrázku 1.6. PA patří do skupiny amorfních semikrystalických materiálů se stupněm krystalinity až 60%.

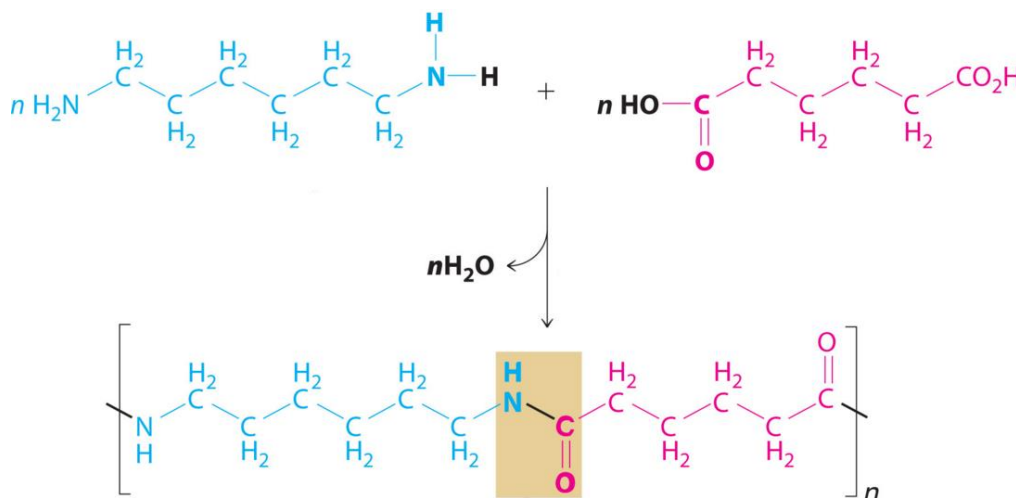


Obr. 1.6 Chemický vzorec PA [11]

Polyamidy se na trhu objevily ve 30. letech 20. století jako první syntetické vlákno světa. Materiál se proslavil nejdříve v módním prostředí s obchodním názvem nylon. Později se začal využívat i v ostatních oblastech díky své odolnosti a pevnosti.

1.2.1 Výroba [1][11]

Polyamidy se vyrábí polykondenzační reakcí z diaminů a dikarboxylových kyselin nebo polymerací laktamů.



Obr. 1.7 Chemická reakce vzniku polyamidu [1]

1.2.2 Vlastnosti PA [7][11]

Díky obsahu dusíku v řetězci mají polyamidy vysokou pevnost. Bohužel také způsobují velkou náchylnost k navlhavosti. S určitým množstvím vlhkosti si výrobky z PA zajišťují pružnost a rázovou pevnost. Také vysoký stupeň krystalické fáze zajišťuje pevnost, tvrdost a tuhost. Všechny vlastnosti PA závisí na výrobních podmínkách – teplotě formy, taveniny atd. Díly z PA jsou samomazné a vykazují tichý chod.

Z chemického hlediska je materiál odolný proti rozpouštědlům, olejům, tukům a většině kyselin. V přírodním stavu má PA mléčnou barvu, ale je citlivý na UV záření, kvůli kterému žloutne. Lepší UV odolnost zajišťují přísady, hlavně saze.

Při narůstající teplotě má polymer dobrou stálost rozměrů. Standardní tepelné pole pro použití je -40°C až 125°C . Teplota tavení je 300°C . Odolnost proti hoření je charakterizována testy z norem UL-94 společnosti Underwriters Laboratories, udávaná hodnota je V-2.

1.2.3 Využití

Z důvodu skvělého poměru ceny a vlastností je PA rozšířený v mnoha odvětvích průmyslu. Mezi hlavní oblasti patří:

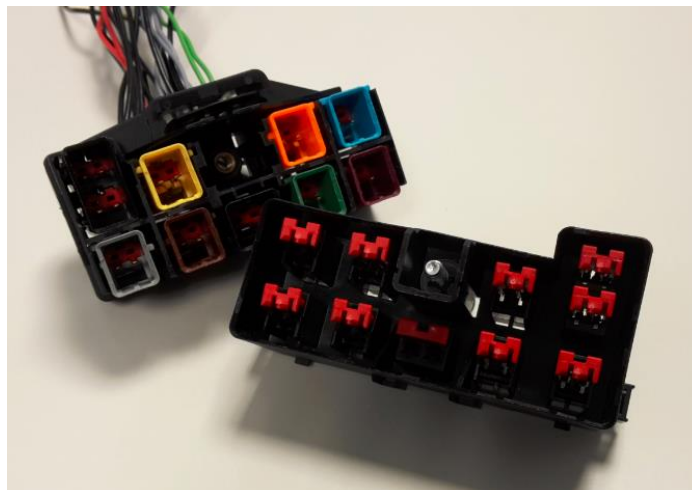
- Automobilový průmysl
 - Kryty motorů,
 - přívody vzduchu,
 - hnací ústrojí.
- Elektrické a elektronické zařízení
 - Nízkonapěťové rozvody,
 - konektory a svorkovnice,
 - vypínače.
- Módní průmysl
 - Nylon,
 - Silon.
- Ostatní
 - Sport,
 - nábytek,
 - potrubí,
 - ochranné folie.

1.3 Zkoumané těleso

Těleso konektoru je využito jako konektor k propojení elektronických systémů v sedadle řidiče a spolujezdce. Jeho reálnou podobu s protikusem ukazuje obrázek 1.8. Výrobek musí splňovat požadavky stanovené v normě USCAR-2.

1.3.1 Design výrobku

Výrobek má tvar rámu, do kterého zapadají různobarevné moduly s nainstalovanou kabeláží a zkratovacími můstky. Počet otvorů pro tyto moduly je devět a celý konektor je schopen spojit 20 kabelů. Na výrobku se nachází prvek pro montáž v automobilu a dutina, ve které se nachází tepelně zalisovaná mosazná vložka se závitem. Vložka slouží k pevnému spojení s protikusem. Základní rozměry výrobku jsou zobrazeny v kapitole 3.2.3.



Obr. 1.8 Zkoumaná součást

1.3.2 Využití

Jak již bylo uvedeno výše, výrobek slouží k montáži modulů pro různé obvody v sedadle. Dva z těchto modulů mají význam z hlediska bezpečnosti automobilu. Jedná se o komponenty označeny žlutou a oranžovou barvou. Kromě kontaktů jsou zde i zmiňované zkratovací můstky, aby zabránili náhodnému sepnutí obvodu při rozpojování konektoru. Bezpečnostní obvody jsou v tomto případě airbag a předepínač bezpečnostního pásu. Ostatní moduly spojují elektrické obvody jako je vyhřívání sedadel, elektrické posuvy sedadel, snímač polohy a podobně.

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [7][14][16]

Vstřikování plastů patří do oboru tváření. Jedná se o nerozšířenější metodu pro zpracování plastů. Princip vstřikování spočívá v přívodu plastu ve formě granulátu do plastifikační jednotky. V jednotce jsou granule pomoci tepla a tření vznikajícího při otáčení šneku roztaveny a tavenina je poté vysokou rychlostí a tlakem vstříknuta do formy, tvořené negativem požadovaného výrobku. Po vychladnutí materiálu je forma otevřena a díl vyjmut.

Mezi hlavní výhody patří variabilita materiálů, jelikož pro vstřikování je možno využít všech termoplastů, plněných i neplněných a navíc několik typů reaktoplastů i elastomerů. Další výhodou je možnost návrhu velmi složitých tvarů a produkce není omezená velikostí výrobku, který může mít až několik kilogramů. Pro sériovou výrobu je vstřikování vhodné vzhledem k reprodukovatelnosti vlastností.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena vstřikovacího stroje a formy. Tato metoda je tedy vhodná zejména pro velkosériovou výrobu, kde se náklady mohou vrátit i za několik let.

2.1 Příprava materiálu [7][15]

Aby bylo možné materiál vstřikovat bez potíží, je potřeba aby granulát prošel několika technologickými kroky ještě před rozpuštěním. Ze všeho nejdřív je materiál podroben zkouškám u vstupní kontroly.

2.1.1 Vstupní kontrola [7][15]

Při vstupní kontrole se kontroluje totožnost materiálu s certifikátem od výrobce, množství plniva a popelu, vlhkost materiálu, rázová zkouška metodou IZOD, index toku taveniny a vzhled granulátu.

Totožnost materiálu

Zkouška na typ polymeru probíhá metodou DSC – Diferenciální snímací kalorimetrií, kdy je provedena termická analýza. Zkoumaný vzorek se podrobuje ohřevu, při němž se postupně mění rychlost tepelného toku. Tato rychlost je úměrná měrnému teplu. Zařízení sleduje zkoumaný vzorek a současně i referenční. Oba vzorky jsou ohřívány současně takovým způsobem, aby měli stejnou teplotu. Při změně tepelné kapacity sledovaného vzorku dojde automaticky ke změně množství dodávaného tepla. Testem se vyhodnocují charakteristické teploty, jako jsou teplota tání, skelného přechodu, krystalinity atd.

Množství plniva a popelu

Test probíhá dle normy ISO 3451. Nejjednodušší způsob je přímé žhání v peci za teplot 600°C až 900°C dle typu plastu.

Index toku taveniny

Rozlišují se dva typy ITT a to hmotnostní a objemový. ITT udává množství taveniny, které proteče danou tryskou za 10 minut při dané teplotě a zatížení.

Rázová zkouška IZOD

Specifikace testu je popsáno v normě ISO 180. Trámeček vyrobený ze zkoušeného materiálu je na jednom konci pevně upevněn a na druhém konci se přeráží zkušebním kladivem.

Vlhkost materiálu

Protože některé plastové materiály jsou silně navlhavé a tato vlhkost může během vstřikování ovlivnit kvalitu výlisku, je důležité zjišťovat zbytkovou vlhkost.

2.1.2 Sušení materiálu [5][10]

Jelikož je vlhkost při vstřikování nežádoucí vlastnost, prochází materiál přes sušící stanici. Existují dva typy sušení – vakuové, kdy se přebytečná vlhkost ze síla odsává a horkovzdušné, ve které proudící horký vzduch odnáší vlhkost do výměníků. Čas a teplota sušení bývá uvedena v materiálovém certifikátu a je pro každý typ plastu jiná. Jestliže není polymer dostatečně vysušen, objevují se na výrobku kromě zhoršených mechanických vlastností i vlhkostní šmouhy. Tím se dá odhalit chyba v sušení již na počátku výroby.

2.2 Vstřikovací stroj [2][4][10][16]

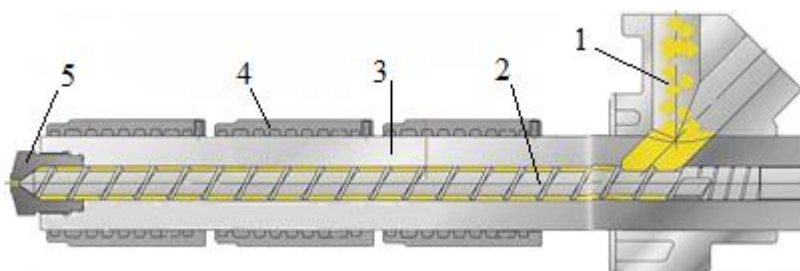
Vstřikovací lis je zařízení určené pro roztavení materiálu, uchycení a uzavření formy vytvoření výrobku a jeho vyhození ze stroje. Současné stroje obsahují kromě základních prvků i přídavné, díky kterým mohou být částečně nebo plně automatizované. Mezi tyto přídavné prvky patří různé manipulátory, roboty, sušárny, dopravníky, mlýnky a další. Na trhu existuje mnoho různých výrobců vstřikovacích strojů. Velkou výhodou všech strojů je možnost použití formy v kterémkoliv z nich, neexistuje vazba stroj-forma. Standardní vstřikovací lis se skládá z těchto částí:

- Vstřikovací a plastifikační jednotka
- Uzavírací jednotka
- Vstřikovací forma

2.2.1 Vstřikovací jednotka [2][7]

Úkolem vstřikovací jednotky je roztavit plastový granulát do teplotně a strukturně homogenní směsi. Vstřikovací jednotka je také určena pro vývin tlaku na taveninu a tak provést její vstříknutí do formy. Vstřikovací jednotka, zobrazena na obr. 2.1, se skládá z následujících prvků.

- Násypka (1)
- Šnek (2)
- Tavicí komora (3)
- Topení (4)
- Tryska (5)



Obr. 2.1 Vstřikovací jednotka [2]

Násypka

Kromě usměrnění materiálu do tavicí komory může mít násypka ještě důležitý význam v dávkování materiálu. Mimo požadavků na správné množství přísad ovlivňující chemické a mechanické vlastnosti jsou současně kladeny vysoké nároky na probarvení materiálu. Barva je většinou ke stroji dodávána samostatně a k jejímu smíchání s originálním granulátem dochází až těsně před strojem. Aby byl zajištěn správný poměr, je násypka vybavena gravimetrickým nebo volumetrickým dávkováním. Zkoumaný materiál je probarven pomocí sazí již od dodavatele granulátu. Tím odpadá nutnost použití složité násypky.

Šnek

Šnek je pohyblivá součást vstřikovací jednotky. Vykonává dva pohyby a to rotaci kolem své osy a lineární posun v axiálním směru osy. Během plastifikace materiálu šnek rotuje, čímž dochází k nabrání dávky materiálu, posuvu materiálu směrem k tavicí komoře, promíchání materiálu a vlivem tření mezi jednotlivými granulami také k jejich tavení. Zároveň s rotací se šnek pohybuje lineárně směrem od formy. Tím vytváří před čelem prostor pro taveninu. Jakmile je taveniny dostatečné množství, šnek se přestane otáčet a pohybuje se jen vpřed. Čelo šneku funguje jako píst a dochází ke vstříknutí materiálu do formy.

Tavicí komora

Jedná se o komoru, ve které se pohybuje šnek společně s materiálem. Plášť tavicí komory obsahuje topení, které pomáhá k roztavení materiálu. Uvádí se, že topení poskytuje asi 1/3 energie potřebné pro roztavení materiálu, zbytek energie vznikne třením. Topení standardně mívá tři samostatně regulovaná pásma. Pomocí různé teploty pásem je umožněno postupné zahřívání formy.

Tryska

Tryska tvoří ústí tavicí komory. Rozlišuje se několik typů trysky:

- Otevřená
- Uzavíratelná – zabraňuje vtoku plastu zpět do tavicí komory

Na trysku jsou kladeny vysoké nároky pro přesnost rozměrů a umístění. Je nutné, aby osa trysky byla co nejpřesněji umístěna v blízkosti osy ústí vtokové soustavy. V praxi se také využívá konstrukce trysky, která má větší průměr než vtoková vložka.

2.2.2 Uzavírací jednotka [10][16]

Součástí vstřikovacího lisu sloužící pro zavírání formy a vyvinutí dostatečné síly k překonání vstřikovacího tlaku je uzavírací jednotka. Hlavní části jednotky jsou opěrné desky, pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterých je umístěna pohyblivá část formy, upínací desky s nepohyblivou částí formy a otvorem pro trysku. Dále jsou zde uzavírací a přidržovací mechanismy. Stejně jako pohonů existuje i několik typů uzavíracích mechanismů – mechanický, hydraulický, kombinovaný a elektrický.

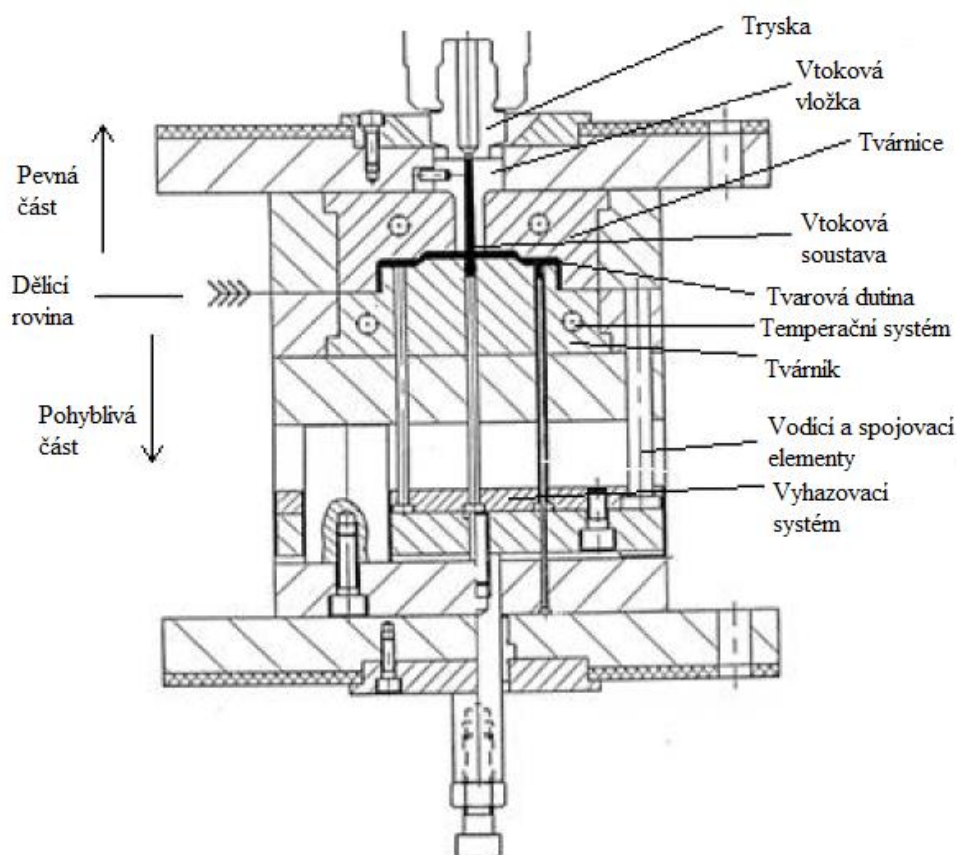
Uzavírací jednotky i samotné vstřikovací stroje se dělí dle vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky. Nejčastěji používaná je horizontální poloha, kdy se vstřikuje kolmo na vertikální dělicí rovinu. Ve zvláštních případech, jako je například zakládání zálisků nebo dvoukomponentního vstřikování, lze použít i jiné uspořádání s různými kombinacemi vertikálního a horizontálního uspořádání soustav.

2.2.3 Vstřikovací forma [3][4][16]

Forma je nástroj obsahující negativ výrobku. Tím umožňuje plastu dosáhnout požadovaného tvaru, rozměrů a kvality. Forma je složena z pevné a pohyblivé části. Ty jsou dále složeny z vložek, desek, středících prvků a vyhazovačů. Celá forma je pak umístěna do uzavírací jednotky vstřikovacího stroje.

Forma je velmi složitá z hlediska konstrukce i výroby. Je nutné dosáhnout vysoké přesnosti rozměrů, kvality povrchu a zároveň splnit ekonomické požadavky. Forma během své životnosti odolávat vysokým tlakům od vstřikovací a uzavírací jednotky. Na dutinu formy také působí abraze například skleněných vláken, které jsou obsaženy v plněných plastových materiálech.

Životnost formy se udává v počtu cyklů a pro sériovou výrobu je žádoucí dosáhnout až několika miliónů. Pro zvýšení počtu výrobků se navrhuje forma vícenásobná. To znamená, že obsahuje více než jednu dutinu pro výrobek. Pro malé a jednoduché výrobky je možno navrhnout formu až s několika desítkami dutin.



Obr. 2.2 Schéma formy [2]

Na obrázku 2.2 je zobrazena základní konstrukce jednonásobné formy. Dutina formy je tvořena tvárnici a tvárníkem. Mezi těmito prvky je mezera, která je v průběhu výstřiku zcela naplněna plastem. Jelikož při chladnutí plastu dochází k velkému smrštění, jak již bylo zmíněno dříve, je dutina formy vždy větší než konečný výrobek. Je důležité, aby v dutině byla dodržena jakost povrchu a správně navrženy úkosy. Oba požadavky umožňují vyhození vylisku bez jeho poškození a kvalita povrchu se navíc promítne i na povrch výrobku. Nejnáročnější pohledové díly se tvoří takzvaným dezénovým povrchem. Při poškození není možno povrch opravit a je nutno vyrobit téměř novou formu.

Další součástí je vtoková soustava, která je tvořena několika kanály a slouží k rozvodu materiálu od trysky k jednotlivým dutinám formy. Kanály musí být co nejkratší, aby nedošlo ke ztrátě tepla a tlaku. U vícenásobných forem musí tavenina zatéct do všech dutin současně a se stejnými parametry. V praxi se vyskytují dva typy vtoků:

- Studený vtok – tavenina ztuhne v celé soustavě. Pro využití tohoto toku je nutné využít větších tlaků. Výhodou je jednodušší konstrukce.

- Horký vtok – systém je vyhříváný v celé své délce a materiál tak zůstává tekutý i po odformování. Výhodou je nižší spotřeba materiálu a zvýšení produktivity z důvodu absence nutnosti odstraňování zatuhlých vtoků. Nevýhodou horkých vtoků je jejich vysoká pořizovací cena. Vyplatí se tedy jen u velkosériové výroby.

Při ztuhnutí dílu je nutné kus vyjmout aby se dutina uvolnila pro další cyklus. Pro toto vyjmutí slouží ve formě vyhazovací mechanismus. Vyhazovače musí být dostatečně tuhé a musí vyvinout sílu dostatečnou pro vyhození smršťeného dílu. Typy vyhazovačů jsou mechanické a pneumatické. Mechanické vyhazovače mají válcový tvar (kolíky) a jejich plocha musí být dostatečně velká, aby nedošlo k propíchnutí výrobku. U mechanických vyhazovačů je nutné počítat se stopami, které kolík zanechá. U pneumatických vyhazovačů se otisk nevyskytuje, jelikož je pro vyhození využíváno stlačeného vzduchu.

Při každém cyklu je do formy vneseno teplo od chladnoucího materiálu. Aby bylo zajištěno vhodné ochlazování je potřeba do formy zahrnout temperanční systém. Jedná se o soustavu kanálků, ve kterých proudí chladicí kapalina, nejčastěji voda. Soustava je napojena na chladicí zařízení aby se udržovala stále stejná teplota. Chlazení a tuhnutí výrobku je nejdelší proces doby cyklu, proto je snaha ji co nejvíce zkrátit. Teplota má také přímý vliv na smršťení a a jakost výrobku. Různé části výrobku je vhodné chladit různě intenzivně, proto se do forem buduje několik samostatných soustav.

Poslední důležitou součástí forem je její odvzdušnění. Při plnění dutiny formy je materiálem stlačován vzduch, který by bez odvzdušnění neměl kam uniknout. V krajním případě může dojít k takzvanému dielelektu. Stejně jako u vznětového motoru, dosáhne vzduch vysoké teploty a plastový materiál začne hořet. Z tohoto důvodu se formy navrhují s kanálky, kudy může vzduch uniknout. Jsou natolik malé, že plast do nich nemůže vtéct.

2.2.4 Vstřikovací cyklus [2][3][4][9]

Cyklus vstřikování je série přesně stanovených úkonů vykonávaných vstřikovacím strojem. Cykly se opakují po každém vyhození výrobku. Jednotlivé fáze cyklu jsou:

- Dávkování a plastifikace
- Vstřikování
- Dotlak
- Chlazení
- Otevření formy a vyjmutí výrobku

Schéma různých fází je vidět na obrázku 2.3.

Dávkování a plastifikace

Objem dávky materiálu je stanoven součtem všech dutin, vtokové soustavy a materiálového polštáře před čelem šneku, který je navýšen o 5-10% z důvodu smršťení při chladnutí.

Dávka postupuje tavící komorou, kdy následně dochází k jejímu tavení a homogenizaci.

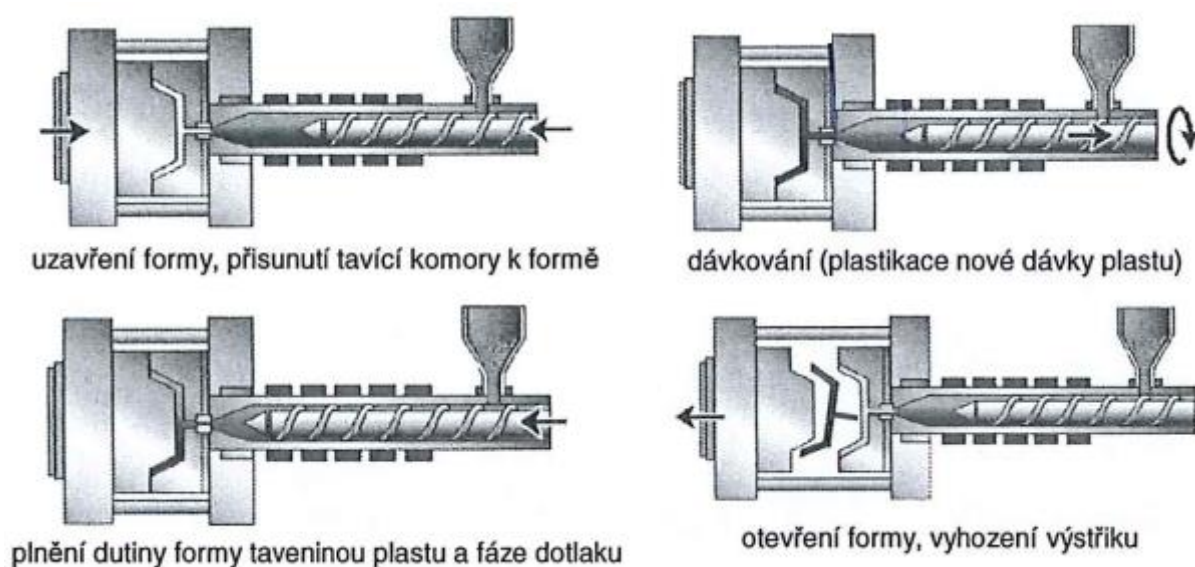
Vstřikování

Při zavření a zajištění formy se šnek začne pohybovat v axiálním směru a tím dochází ke vstřikování plastu do vtokové soustavy a dutin. Vnitřní tlak je relativně malý a jeho nárůst začíná až při kontaktu čela taveniny s koncem formy. Tlak roste až do stanovené maximální hodnoty.

Dotlak

Dotlak je důležitá fáze pro konečné vlastnosti a rozměry vylisku. V průběhu ochlazování dochází k úbytku materiálu a dotlak zajišťuje jeho doplnění. K dostatečné zásobě taveniny slouží materiálový polštář, což je zbytek taveniny před čelem pístu, který nebyl využit pro vstříknutí. Dotlak je ukončen, jakmile zatuhne ústí vtokové soustavy, nebo po dosažení zadaného tlaku.

Je velmi důležité hlídat bod přepnutí mezi vstřikováním a dotlakem. V případě brzkého přepnutí bude tlak v dutině příliš nízký a na díle se vyskytnou propadliny a staženiny. Naopak pozdní dotlak vyvolá příliš velký tlak v dutině a ve výrobku zůstane po ochlazení vnitřní pnutí. Maximální tlak určuje kritické číslo a odpovídá maximálnímu povolenému vnitřnímu napětí. Číslo je závislé na typu materiálu a tvaru výrobku. S vyšším tlakem roste také opotřebení formy.



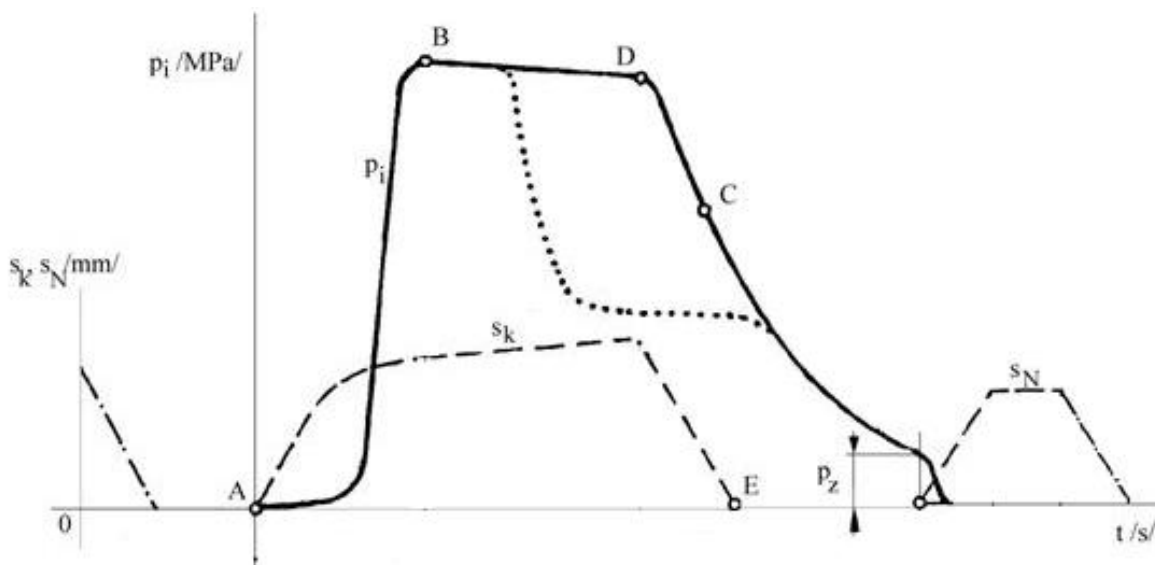
Obr. 2.3 Jednotlivé fáze plnění formy [4]

Chlazení ve formě

Chlazení probíhá od počátku dotlaku do otevření formy. Je důležité, aby při odformování byla teplota vylisku taková, aby nedošlo k propíchnutí vylisku vyhazovačem a aby byly zaručeny mechanické vlastnosti.

Otevření formy a vyjmutí výrobku

Po dosažení ideální teploty se forma otevře a vylisek je vyjmut z dutiny pomocí vyhazovačů. Aby nedošlo k poškození výrobku při pádu z formy, je vhodné použít k jejich uchopení roboty. Společně s vyliskem se z formy odebírá i vtokový systém. Ten je později od výrobků oddělen.



Obr. 2.4 Průběh tlaku ve formě [2]

Obrázek 2.4 zobrazuje závislost tlaku na čase během jednoho cyklu. V křivce p_i bod A označuje počátek, kdy do formy teče materiál a dochází k pozvolnému nárůstu tlaku. Jakmile čelo taveniny dosáhne koncové stěny, nárůst tlaku se prudce mění, až dosáhne maxima v bodě B. V tomto bodě se přepne fáze a šnek začíná materiál dotlačovat. Tlak postupně klesá a v místě kde křivka protne horizontální osu, dochází k otevření formy.

2.3 Využití regranulátu [6][7]

Regranulovaný materiál je vyráběn z kusů, které již prošly vstříkovacím cyklem. Pokud jsou kusy kvalitativně nedostatečné, je možné jejich zpětné vložení do mlýnku a znovu vytvořit granule. Takto vytvořený materiál je přidán k původnímu materiálu a znovu roztaven, vystříknut a použit do dalšího dílu. Regranulovaný materiál již jednou prošel tepelným zatížením a může být degradován. Z tohoto důvodu není používání regranulovaného materiálu doporučeno. Z ekonomického hlediska však může regranulovaný materiál uspořit materiál původní a tím značně snížit náklady na výrobu.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY [7][17]

Rozborem technologií pro zpracování plastu bylo zjištěno, že vhodnou možností je využití standardního vstřikování. Pro výrobu je nutno zvolit vhodné stroje a zařízení. Forma pro výrobu byla již vytvořena společností, která tuto práci zadala, společně s jejími externími dodavateli, a proto se návrhem ani konstrukcí formy tato práce nezabývá.

3.1 Použité stroje a zařízení [7][17]

Dalším bodem potřebným pro výrobu, je volba stroje a dalších zařízení, které jsou součástí výrobního procesu.

3.1.1 Stroje pro výrobu [17]

Na základě dostupnosti a vhodnosti všech sledovaných parametrů byl zvolen stroj DEMAG IntElect 150/520-610. Jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce 1.

Tab. 1 Parametry výrobního stroje

Veličina	Hodnota
Uzavírací síla	2000 kN
Rozměr mezi sloupky	560 x 560 mm
Zdvih pohyblivé desky	500 mm
Rozměry formy	310 / 660 mm
Vnější rozměr upínacích desek	830 x 830
Vstřikovací kapacita	255 cm ³
Hmotnost stříku	230 g (Polystyren)
Vstřikovací tlak	2418 barů
Průměr šneku	40 mm
Ovládací režim	NC 4
Příkon	60 KW
Vnější rozměry	5,2 x 1,6 x 2,1 m
Hmotnost	7,7 t
Rok výroby	2001

Ke stroji byli připevněny další zařízení k manipulaci s kusy, drcení vtoků a špatných kusů, gravimetrický dávkovač a dopravníkový pás. Materiál je umístěn v centrálním síle, kde je zároveň i sušen. Dle doporučení výrobce, je materiál umístěn v prostředí s 80°C po dobu 4 hodin. Na obrázku 3.1 je fotografie výrobního stroje.

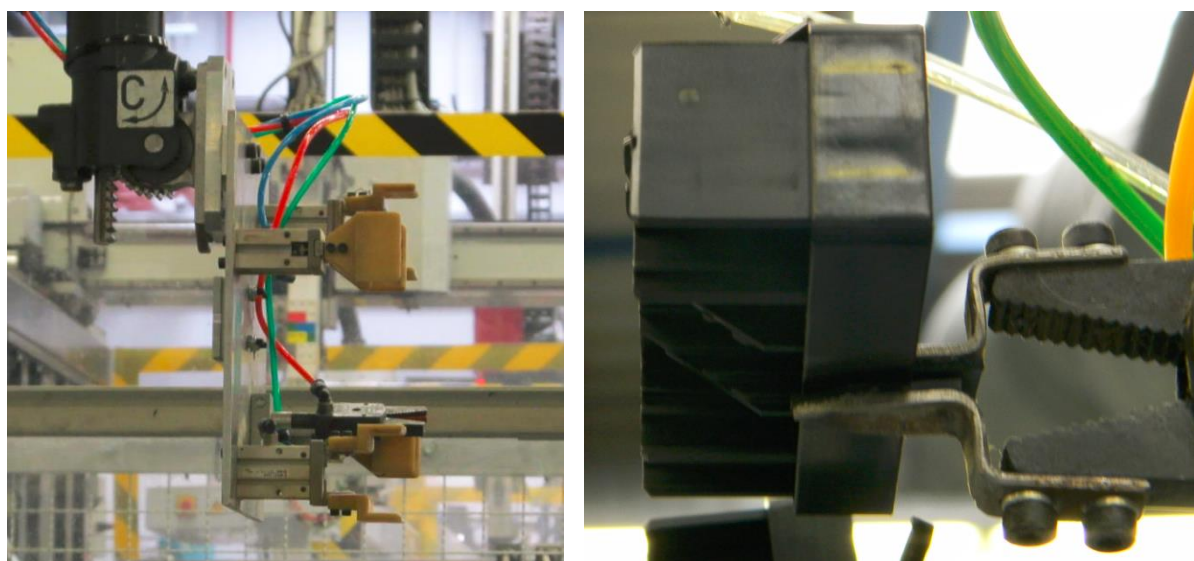
Na stroji je automaticky detekován tlak v jednotlivých dutinách. Pokud by systém zaznamenal pokles tlaku z jakéhokoliv důvodu, vyhodnotí daný výlisek jako špatný a rameno uchopovače jej vhodí do bedny s vyřazenými kusy společně s vtokovou soustavou. Rameno uchopovače je na obrázku 3.2.



Obr. 3.1 Vstřikovací stroj Demag IntElect [17]

Pro výzkum vlivu materiálu byl ke stroji přidán mlýnek, který se napojil na gravimetrickou odměřovačku a redukoval přísun recyklovaného materiálu.

Po celou dobu výroby jsou pravidelně kontrolovány základní rozměry výrobku, jeho vzhled a hmotnost. V případě nalezení neshody je výroba zastavena a forma opravena. Během výroby testovacích kusů nenastal žádný problém a kusy jsou tedy vhodné k testování.



Obr. 3.2 Uchopovač při vyjímání výlisku z formy

3.1.2 Technologický postup výroby

Pro správnou výrobu je nutné stanovit technologický postup. V případě technologie vstřikování, postup obsahuje informace o nastavení stroje a vstřikovacích parametřů. Nejdůležitější parametry jsou vypsány v tabulce 2.

Tab. 2 Technologické parametry vstřikování

Teplota formy					80°C
Teploty válce max. tol.					290°C
Teplota horkých vtoků					305°C
Vstřikovací tlak					1600 bar
Vstřik. rychlost	1	rychlost [ccm/s]	dráha [ccm]	120	135
	2	rychlost [ccm/s]	dráha [ccm]	75	50
Dotlak	1	tlak [bar]	čas [s]	800	0.1
	2	tlak [bar]	čas [s]	800	0.1
	3	tlak [bar]	čas [s]	650	3.7
	4	tlak [bar]	čas [s]	650	0.2
Chlazení					16 s
Rychlost dávkování					500 mm/s
Odpor šneku					80 bar
Vstřikovaná dávka					125 ccm
Konec dekomprese					135 ccm
Přepnutí	Dráha			20 ccm	
	Čas			1.5 s	
	Tlak			1600 bar	
Hmotnost zdvihu					116.1 g
Hmotnost vtoku					11.9 g

3.2 Výsledky měření [18]

Pro výzkum vlivu obsahu recyklovaného materiálu byly na zmíněných strojích vytvořeny tři testovací skupiny. Jednotlivé skupiny jsou:

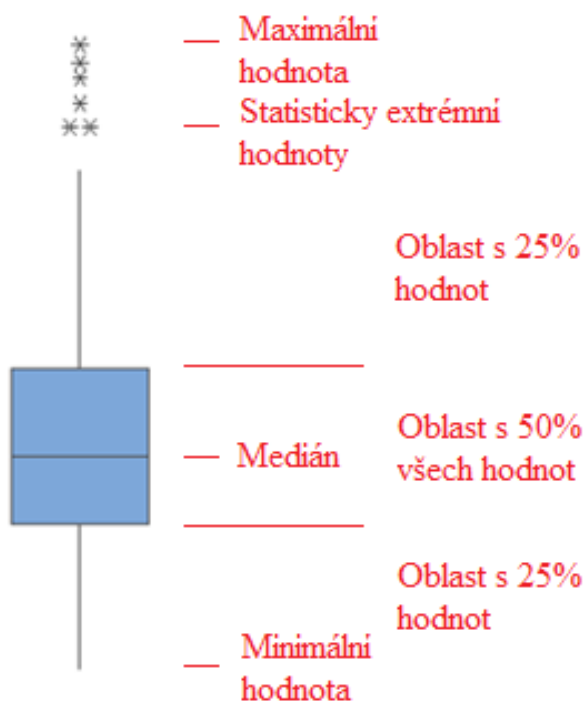
- Čistý materiál bez regranulátu
- Materiál s 10% regranulátu
- Materiál s 80% regranulátu

Tyto skupiny byly zvoleny s ohledem na možnosti dodávky recyklovaného materiálu. Čistý materiál slouží jako srovnávací. Hodnota 10% je povolena vnitřní směrnici výrobní společnosti a 80% regranulátu je maximální hodnota, kterou ostatní stroje dokážou dodávat.

Testování konektoru probíhalo dle normy USCAR2, revize 6 z roku 2013. Norma byla vytvořena sdružením odborníků z oblasti automobilového průmyslu SAE International. Norma se zabývá validačními zkouškami pro komponenty elektrických a elektronických soustav v automobilu. Zkoumání vlivu regranulátu se řídí testovací maticí pro schválení nového materiálu. Tuto matici vidíme v tabulce 3.

Tab. 3 Testovací matice dle normy USCAR2 [18]

Test Seq. ID	Test Name	Tool Transfer			New/Capacity Tooling			Material Change ⁽³⁾				
		Terminal	Connector	Seal	Terminal	Connector	Seal	Terminal ^(2,7)	Connector			
									Sealed	Un-sealed	Seal ⁽³⁾⁽⁴⁾	
A	Terminal to Terminal Engage/Disengage Force	X			X			X				
B	Terminal Bend Resistance				X			X				
C	Maximum/Current Cycling							X				
D	Terminal-Connector Insertion/Retention		X		X	X			X	X	X ⁽⁵⁾	
E	Miscellaneous Component Engage/ Disengage Force		X			X			X	X		
F	Audible Click								X	X		
G	Connector- Connector Mating/Unmating		X			X			X	X	X	
H	Polarization Effectiveness								X	X		
I	Drop								X	X		
J	Cavity Damage								X	X		
K	Header Pin Retention								X	X		
L	Mounting Feature Mech. Strength								X	X		
M	Vibration/ Mechanical Shock							^(2,7)	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾		
N	Thermal Shock							^(2,7)	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾		
O	Temperature / Humidity Cycling							^(2,7)	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾		
P	High Temperature Exposure							^(2,7)	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾		
Q	Fluid Resistance								X			
R	Temp./Humidity - Submersion								X		X	
S	Temp./Humidity – PV Leak								X		X	
RSAA	Temp./Humidity – PV Leak, Submersion, High Pressure Spray											
T	High Temp. Exposure - Submersion								X		X	
U	High Temp. Exposure – P/V Leak								X		X	
TUAB	High Temp. Exposure – PV Leak, Submersion, High Pressure											
V	Temp./Humidity									X		
W	P/V Leak (Stand Alone)		X	X		X	X				X ⁽⁴⁾	
X	Mechanical Assist Integrity											
Y	Connector Seal Retention – Unmated Connector											
Z	Connector Seal Retention – Mated Connector											
AA	Temp./Humidity – High Pressure Spray											
AB	High Temp. Exposure – High Pressure Spray											
AC	Submersion (Stand Alone)											
AD	High Pressure Spray (Stand Alone)											



Obr. 3.3 Popis hodnot v grafech

Jednotlivé testy jsou popsány v následující kapitole společně s jejich výsledky. U některých testů je také zobrazeno základní statistické vyhodnocení hodnot. U většiny testů je zobrazen graf rozdělení hodnot. Způsob jak se orientovat v grafu je na obrázku 3.3.

3.2.1 Mechanické zkoušky [18]

D, Terminal-Connector insertion retention

Tento test zabývá zásuvnými a výsuvnými silami terminálů do plastového konektoru. Zkoumaný výrobek neslouží k zapojování konektorů přímo, proto není tento test relevantní.

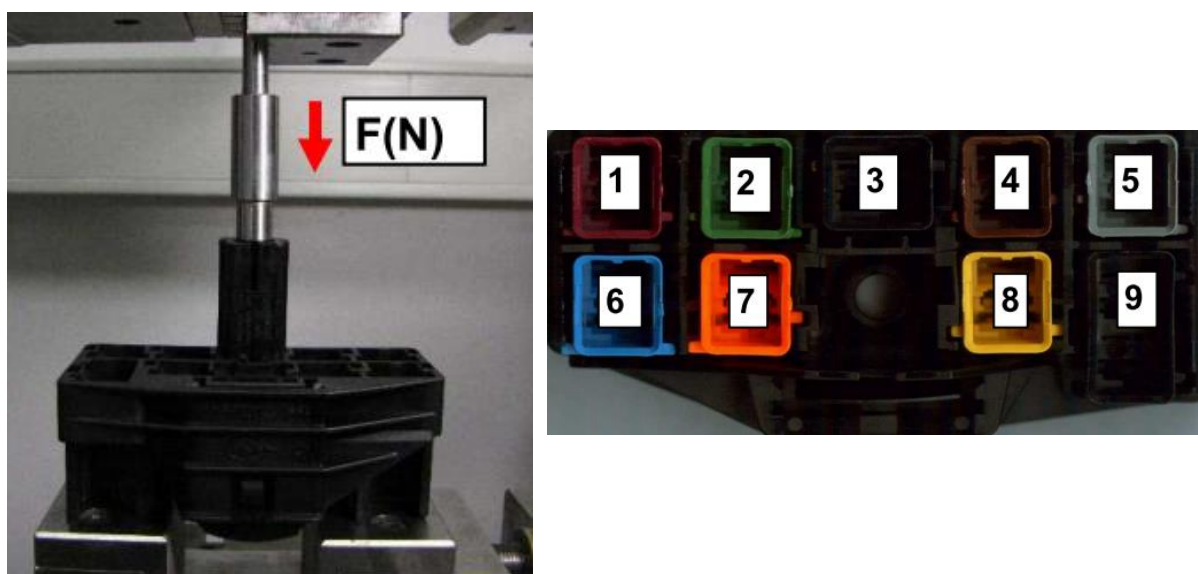
E, Miscellaneous Component Engage/Disengage Force

Konektor obsahuje několik prvků, u kterých sledujeme zásuvné a výtržné síly. Jedná se zejména o moduly pro jednotlivé

okruhy, pevnost montážního prvku a zalisovanou závitovou vložku. Montážní oblast je zkoumána v jednom z následujících testů, proto se prozatím uvádí pouze moduly a vložka se závitem. Všechny zásuvné a trhací zkoušky proběhly na trhacím stroji Zwick Z005 s testovací rychlostí 25mm/min.

- Zásuvné síly modulů

Zásuvné síly modulů jsou jedním z nejdůležitějších parametrů, které se sledují při volbě nového materiálu. Jelikož jsou moduly aplikovány ručně, je nutné, aby síla byla dostatečně nízká. Požadavek na maximální sílu zásunu je 90N. Schéma metody je na obrázku 3.4, naměřené hodnoty v tabulce 4 a obrázek 3.5 ukazuje rozdělení hodnot.



Obr. 3.4 Metoda testování zásuvných sil E1

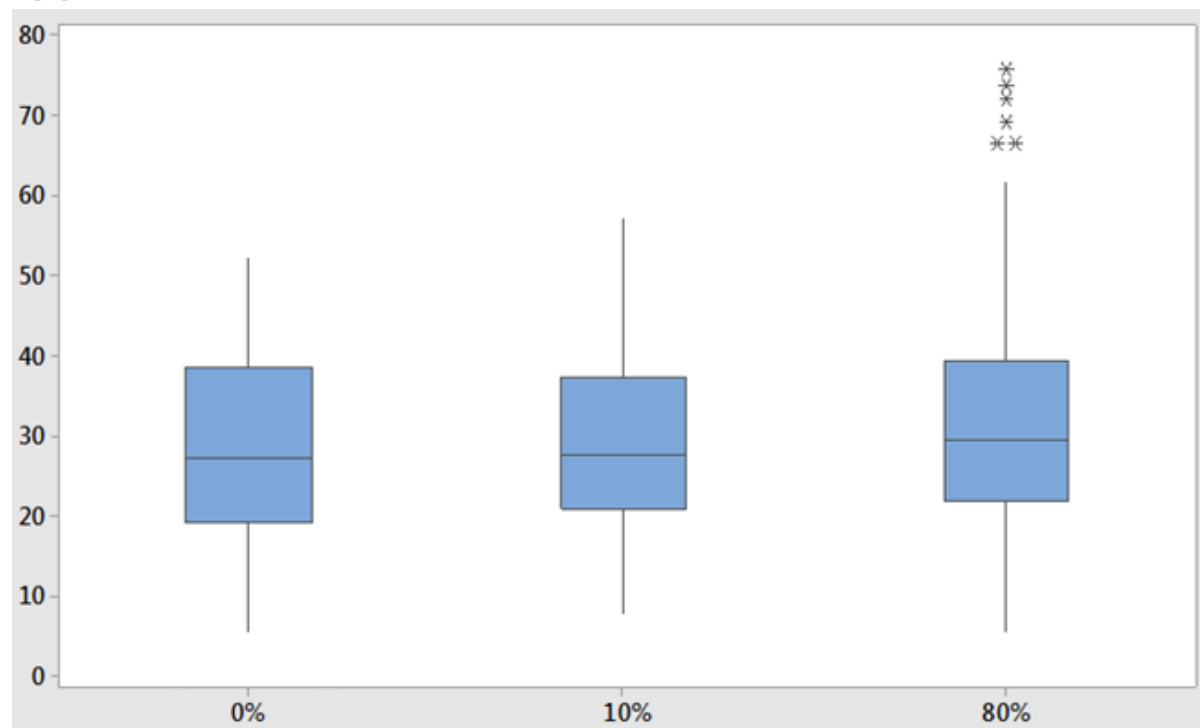
Naměřené hodnoty:

Tab. 4 Naměřené hodnoty zásuvných sil modulů

	Zásuvné síly modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0%	1	9	37.6	31.7	27.1	16.4	11	46.2	39.3	25.6	8.4
	2	9	15.9	52.3	15.5	23.7	23.4	43.6	39.4	39.0	12.6
	3	10	29.3	48.9	27.5	18.1	31.9	34.8	31.1	23.9	10.0
	4	10	38.5	46.2	6.0	22.6	21.8	44.6	30.0	24.8	11.9
	5	10	39.1	47.2	5.5	22.7	29.3	51.7	46.3	41.4	12.7
	6	11	36.8	22.6	26.6	23.1	21.5	33.7	46.0	15.6	8.9
	7	11	41.5	28.8	24.6	24.0	18.4	46.7	35.4	24.8	11.8
	8	12	40.9	41.9	5.8	28.3	20.2	42.7	30.7	31.1	11.0
	9	12	35.6	19.5	7.0	21.9	29.0	37.9	39.9	27.3	11.4
	10	12	41.0	25.1	6.5	24.6	20.4	32.9	27.8	29.7	12.0

	Zásuvné síly modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10%	1	9	30.1	46.6	7.9	22.5	30.4	34.1	24.1	27.4	11.0
	2	9	29.4	24.6	8.4	23.4	9.7	46.0	43.1	27.5	11.9
	3	10	24.1	28.0	32.4	20.8	21.0	47.1	47.9	31.3	12.2
	4	10	38.1	30.0	28.1	28.6	25.3	57.0	37.1	35.5	12.6
	5	10	32.1	53.5	21.7	27.2	24.3	38.8	36.5	35.8	11.4
	6	11	32.1	22.9	27.8	16.2	29.3	39.2	23.7	20.0	9.7
	7	11	31.4	21.3	21.6	25.1	21.4	38.8	27.7	32.6	8.7
	8	12	18.8	45.8	8.0	19.6	20.8	41.5	50.3	43.5	11.9
	9	12	38.2	24.2	8.0	24.2	10.2	41.7	53.3	27.0	11.2
	10	12	38.8	44.1	8.4	23.6	26.6	43.9	30.7	46.1	11.7
80%	1	9	37.6	27.7	9.2	26.7	29.0	45.6	76.0	43.5	18.2
	2	9	38.1	27.8	32.7	28.4	29.5	57.2	31.2	32.4	14.6
	3	10	39.9	66.6	9.4	27.2	30.0	57.1	73.9	31.2	16.5
	4	10	42.1	37.7	18.4	28.9	33.1	60	56.2	36.1	21.1
	5	10	39.1	29.7	9.2	29.3	29.7	60.1	61.7	39.0	18.3
	6	11	43.5	37.8	18.5	33.9	28.4	47	72.0	39.1	20.8
	7	11	44.5	36.3	15.8	28.3	34.8	59.9	69.3	38.6	22.3
	8	12	42.9	35.7	16.2	37.4	29.4	53.5	44.6	36.6	21.8
	9	12	37.8	27.7	9.2	25.6	36.5	53.3	66.6	53.5	17.1
	10	12	37.9	28.4	8.0	27.0	38.7	56.5	37.4	36.9	17.0

F [N]

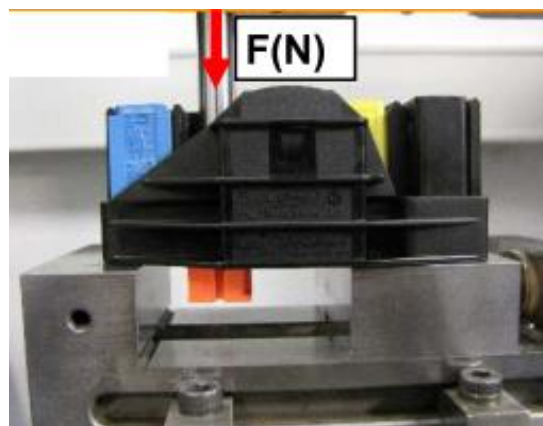


Obr. 3.5 Rozdělení a zobrazení hodnot, test E1

Z naměřených hodnot a grafů lze vyčíst, že díly s obsahem regranulátu 80% vykazují vyšší síly potřebné pro zásun modulů. Tento jev není zcela žádaný, nicméně i přes zvýšení síly těleso stále splňuje požadavek na maximální sílu 90N. U skupiny s 10% recyklátu došlo k mírnému navýšení zásuvné síly oproti čistému materiálu, ale ve výsledku jsou si však skupiny téměř rovny a nejdou od sebe rozlišit. U několika hodnot ve skupině 80% došlo k tak výraznému navýšení síly, že je software vyhodnotil jako extrémní. Hodnoty jsou v tabulce označené červeně a v grafu rozptýlu hvězdičkou.

- Výtržné síly modulů

Oproti zásuvným silám modulů, je v tomto testu měřena síla, kterou je nutno vynaložit, aby došlo k vypadnutí modulu z rámu. Tento požadavek je stanoven pro ohlídání soudržnosti sestavy při namáhání konektoru. Minimální síla, kterou musí rám vydržet je 80N. Směr působení síly je zobrazen na obrázku 3.6.



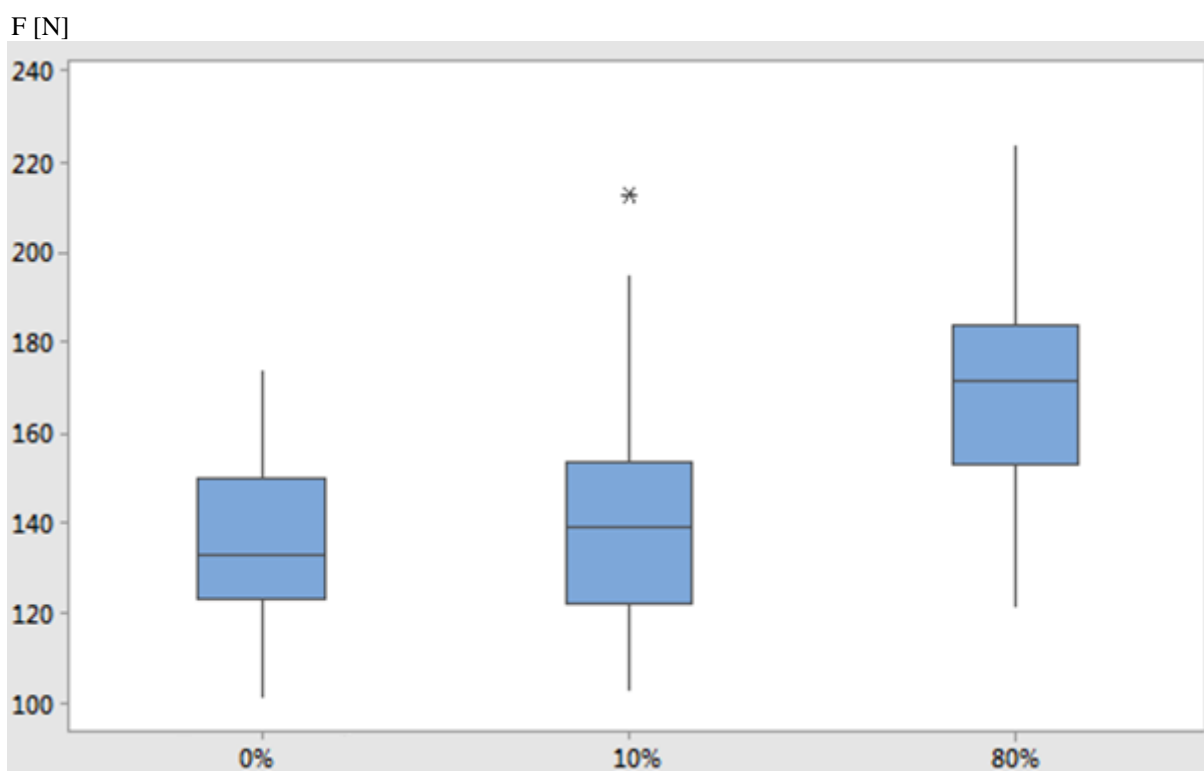
Obr. 3.6 Schéma metody, test E2

Naměřené hodnoty:

Tab. 5 Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů

	Trh modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0%	1	9	155.3	143.1	102.5	101.6	117.3	145.2	156.9	141.4	123.0
	2	9	102.3	160	105.3	119.0	152.4	122.0	155.9	127.7	120.1
	3	10	133.0	164.6	123.4	112.3	111.0	131.1	155.2	123.9	122.1
	4	10	146.5	158.1	130.4	127.2	127.9	139.1	143.6	150.0	124.6
	5	10	158.3	161.5	123.8	129.3	101.3	146.5	173.8	143.2	139.1
	6	11	155.7	142.0	123.3	127.5	143.7	149.5	171.6	141.8	111.1
	7	11	162.6	132.7	119.1	116.8	128.5	146.2	153.8	149.8	120.4
	8	12	149.4	151.3	120.9	107.3	127.2	140.0	141.3	160.1	131.6
	9	12	163.4	132.9	130.8	104.4	110.3	129.1	162.2	129.0	127.2
	10	12	150.7	132.0	113.7	125.3	129.9	145.2	151.6	159.9	141.1
10%	1	9	194.6	150.5	124.5	106.8	112.3	144.0	143.2	128.6	126.6
	2	9	212.6	130.3	122.9	127.0	118.7	140.3	163.6	155.1	122.2
	3	10	146.2	129.8	112.6	105.1	141.9	146.6	156.0	163.0	126.0
	4	10	185.8	127.8	114.9	104.9	110.3	133.1	158.2	150.7	109.4
	5	10	164.8	153.8	105.3	106.8	148.1	153.5	155.0	148.7	110.8
	6	11	158.4	136.5	127.9	102.9	111.4	147.5	158.5	144.2	110.9
	7	11	159.7	136.3	123.0	116.4	127.3	143.9	173.9	159.7	112.7
	8	12	145.3	152.7	120.3	113.1	139.7	148.0	184.5	147.0	120.1
	9	12	166.4	130.3	124.2	104.1	126.5	145.4	154.3	149.8	127.2
	10	12	169.3	153.5	116.3	135.1	122.3	139.0	161.1	148.1	146.1

	Trh modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
80%	1	9	186.9	176.9	149.6	151.7	161.5	173.6	189.9	153.3	147.1
	2	9	186.3	182.1	153.4	147.4	166.6	184.0	180.7	169.1	135.1
	3	10	189.9	204.9	138.8	144.9	162.4	190.1	185.5	182.6	152.2
	4	10	183.0	167.3	140.8	142.1	178.6	187.9	186.8	177.0	138.0
	5	10	186.0	169.5	158.2	154.9	160.9	183.1	183.1	181.9	158.7
	6	11	186.9	165.5	150.4	149.7	167.5	177.8	224.0	172.8	146.6
	7	11	190.1	172.1	141.5	147.1	188.4	191.4	179.5	174.1	144.8
	8	12	183.5	168.5	147.6	121.5	168.1	184.1	175.6	175.2	164.7
	9	12	187.8	169.8	149.9	155.8	187.9	185.8	183.3	170.8	166.3
	10	12	191.1	166.8	158.2	151.1	184.5	179.8	210.0	179.9	161.8

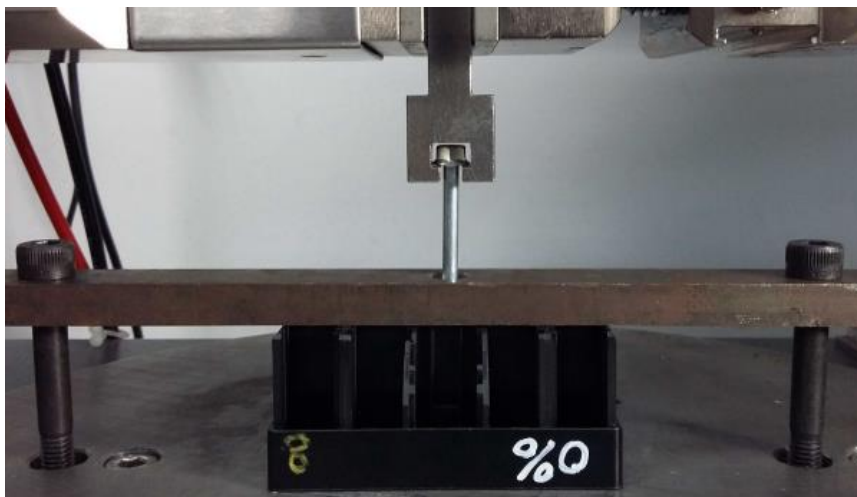


Obr. 3.7 Rozdělení a zobrazení hodnot, test E2

Při měření výtržných sil modulů došlo nejdříve k mírnému nárůstu síly u dílů s 10% regranulátu. U těles s největším obsahem recyklátu došlo ke značnému navýšení. Požadavek na minimální sílu 80N splnily všechny kusy. Skupina 80% však jednoznačně převyšuje ostatní.

- Výtržná síla vložky se závitem

Poslední test na výsuvnou sílu při standardních podmínkách je test na trh závitové vložky.



Norma přímo nedefinuje, jakou silou by měla vložka v tělese držet. Z tohoto důvodu se jedná pouze o informativní test, který objasní vliv regranulátu na tento prvek tělesa. Metoda je zobrazena na obrázku 3.8.

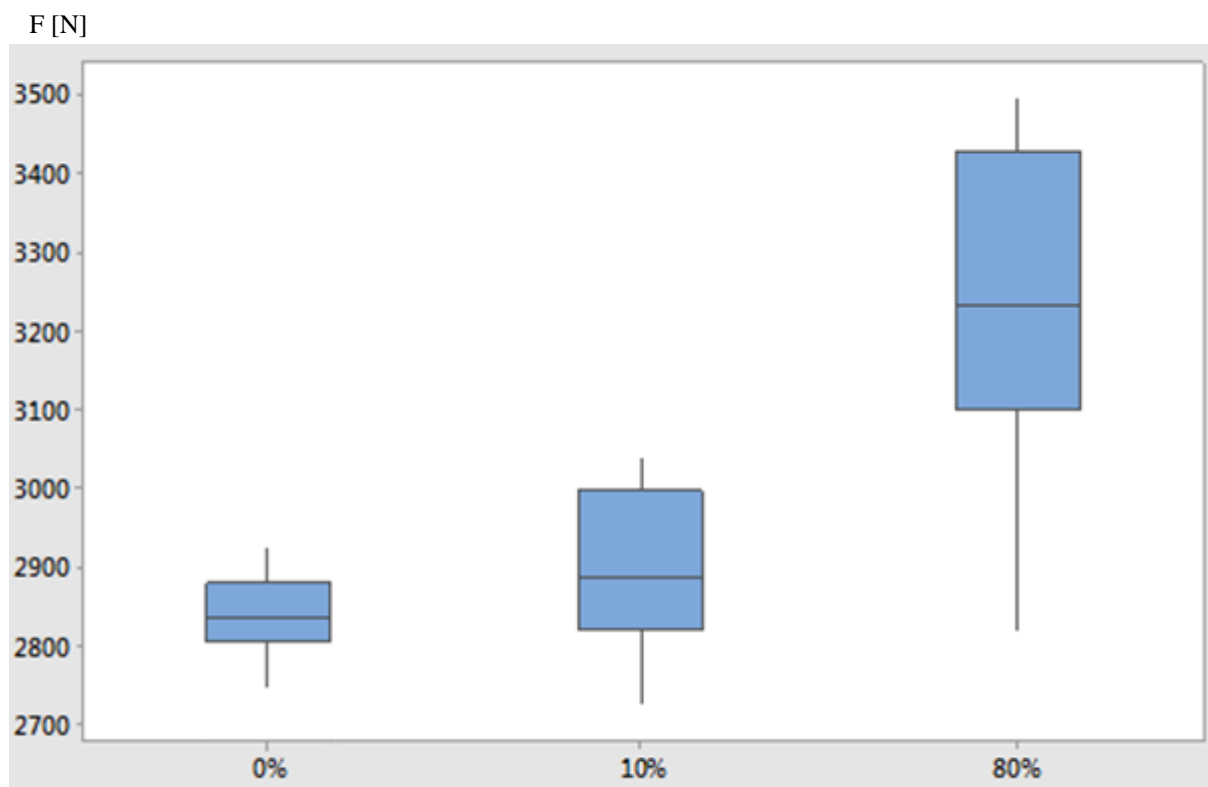
Obr. 3.8 Schéma metody, test E3

Naměřené hodnoty:

Tab. 6 Naměřené hodnoty výtržných sil závitové vložky, test E3

Trh vložky			
Vzorek	0%	10%	80%
	Síla	Síla	Síla
1	2817.47	3038.51	2817.47
2	2922.17	3008.38	3423.65
3	2924.8	2915.56	3442.17
4	2843.0	2725.6	3494.83
5	2819.64	2870.53	3289.12
6	2864.58	2903.37	3105.79
7	2831.65	2846.54	3177.12
8	2749.31	2830.15	3391.28
9	2838.3	2794.25	3150.67
10	2762.47	2992.35	3070.75

Kusy ve skupině 80% opět dosáhly nejvyšších naměřených hodnot. Z grafu rozdělení a stability 3.8 jde vidět, že největší obsah recyklovaného materiálu vede k největší pevnosti tělesa. Ostatní skupiny zaznamenávají obdobnou tendenci jako v předchozích testech.

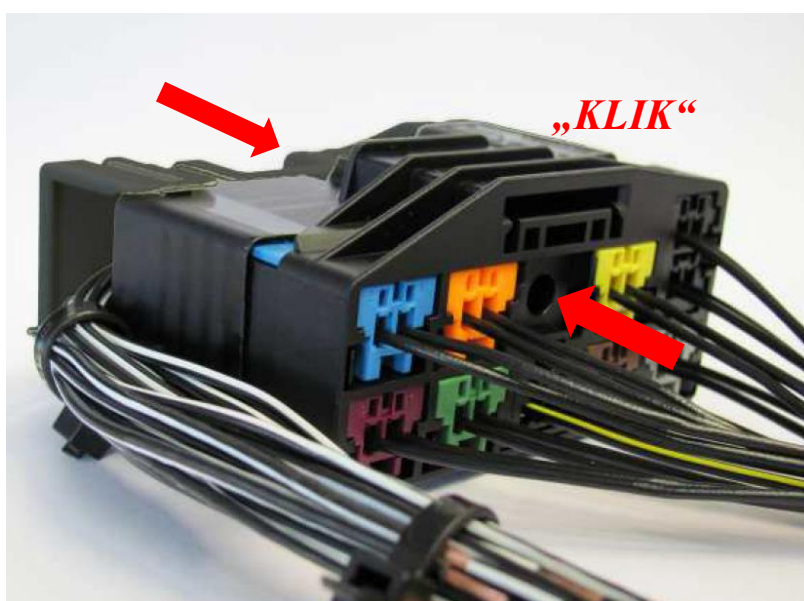


Obr. 3.9 Rozdělení a zobrazení hodnot, test E3

Na rozdíl od ostatních testů je v tomto vidět velký rozptyl hodnot u kusů ve skupině 80%. Nejmenšího rozptylu dosahuje skupina 10%.

F, Audible click

Jedním z požadavků kladených na konektor je slyšitelné cvaknutí při sestavení s protikusem. Cvaknutí má za úkol upozornit operátora, že kus je sestaven a tak vylepšit proces. Test cvaknutí spočívá v měření hlasitosti a porovnání s okolím. Schéma metody zobrazuje obrázek 3.10. Měření probíhalo dle popisu v normě USCAR2. Konektory byly ručně sestavovány při čemž byl mikrofون umístěn 600mm od tělesa. Prvních osm kusů bylo sestaveno originálním stavu, druhá skupina osmi kusů byla nejdříve



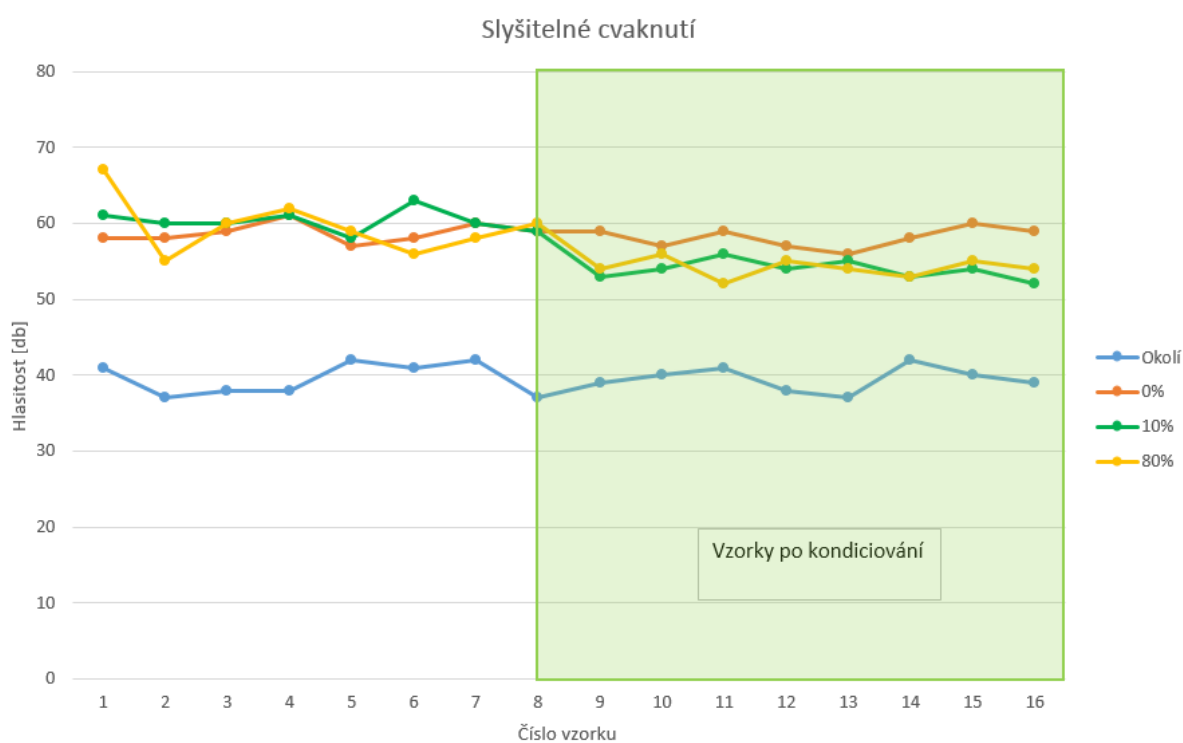
Obr. 3.10 Schéma metody, test F

kondiciována v klimatické komoře. Výsledky obou skupin jsou zobrazeny v tabulce 7 a na obrázku 3.11

Naměřené hodnoty:

Tab. 7 Naměřené hodnoty hlasitosti kliknutí, test F

Hlasitost [dB]	Vzorek	Okolí	0%		10%		80%	
			Hlasitost [dB]	Rozdíl [ΔdB]	Hlasitost [dB]	Rozdíl [ΔdB]	Hlasitost [dB]	Rozdíl [ΔdB]
Standardní podmínky	1	41	58	17	61	20	67	26
	2	37	58	21	60	23	55	18
	3	38	59	21	60	22	60	22
	4	38	61	24	61	23	62	24
	5	42	57	15	58	16	59	17
	6	41	58	17	63	22	56	15
	7	42	60	18	60	18	58	16
	8	37	59	22	59	22	60	23
Po kondicionování	9	39	59	20	53	14	54	15
	10	40	57	17	54	14	56	16
	11	41	59	18	56	15	52	11
	12	38	57	19	54	16	55	17
	13	37	56	19	55	18	54	17
	14	42	58	16	53	11	53	11
	15	40	60	20	54	14	55	15
	16	39	59	20	52	13	54	15



Obr. 3.11 Graf hodnot hlasitosti cvaknutí

U tohoto testu norma nedefinuje minimální nebo maximální hodnotu hlasitosti. Jedná se pouze o informativní test, jehož účelem je zaznamenat hodnoty a v případě změny tvaru nebo procesu zjistit, jaký vliv měla tato změna na funkci cvaknutí. Jak je vidět na obrázku 3.10, všechny skupiny jsou si v tomto testu rovny a je zřejmé, že obsah regranulátu nemá na hlasitost upozornění vliv.

G. Connector connector mating/unmating

Test stanovuje montážní sílu potřebnou k úplnému složení obou polovin konektoru. Zkoumané těleso není určeno pro přímou montáž, ale jeho konstrukce je navržena na smontování pomocí šroubu a vložky se závitem. Právě proto není pro test rozhodující montážní síla, ale krouticí moment. Pomocí normy USCAR a odkazu na normu SDS byla jako maximální montážní moment zvolena hodnota minimálně 2.82Nm. Z každé skupiny bylo odebráno 10 kusů, které byly smontovány s protikusem, a zároveň byl měřen moment na ručním momentovém klíči. Při dosažení hodnoty 2.82 Nm byl konektor vizuálně zkontrolován.

Tab. 8 Výsledky vizuální kontroly po smontování konektoru.

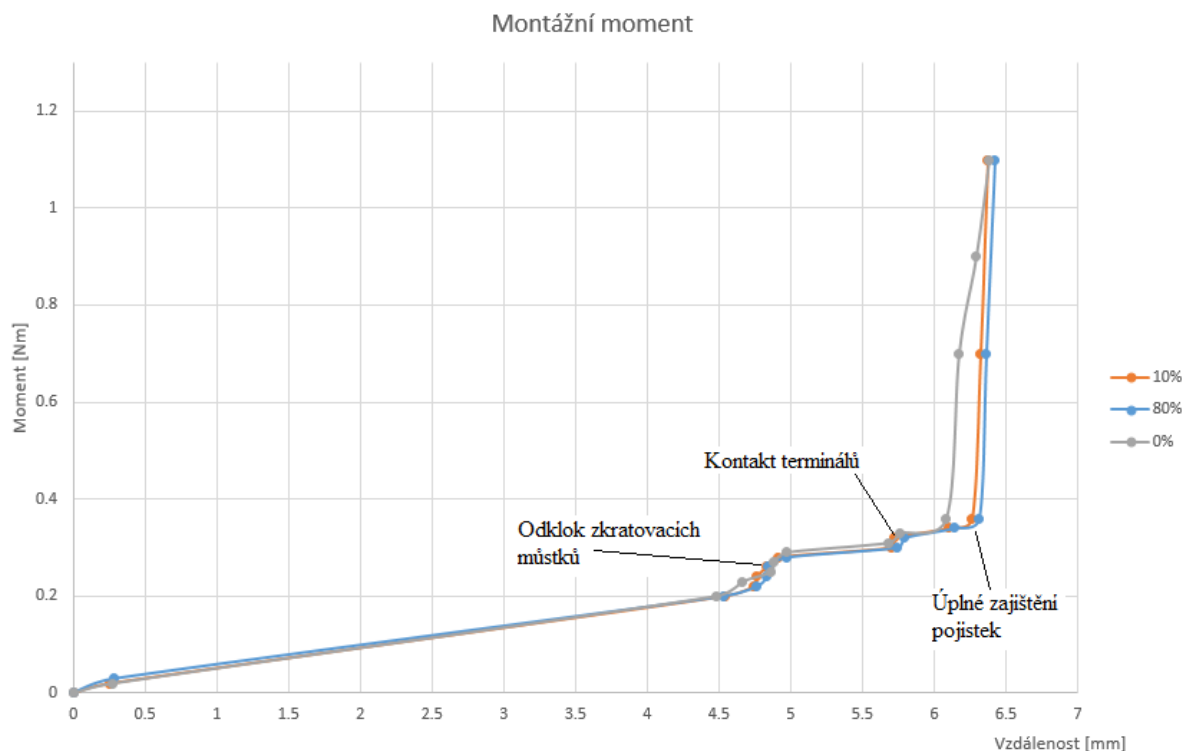
Skupina	Vzorek									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
80%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Při vizuální kontrole nebyla pozorována žádná plastická deformace. Některé části tělesa podléhající napětí při montáži byly zkroucené, ale po uvolnění napětí se vrátily do původního tvaru.



Obr. 3.12 Metoda smontování

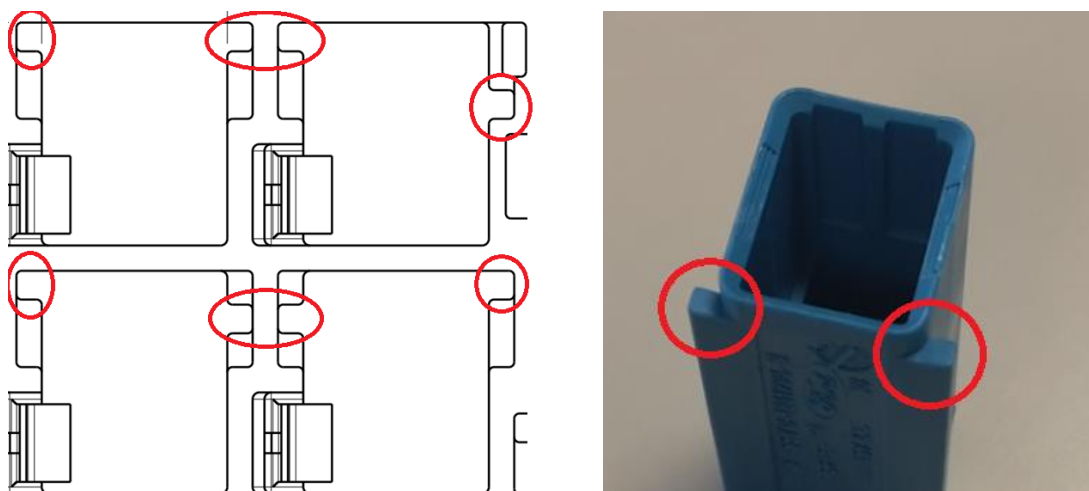
Hodnota stanovená normou je maximální hodnota, kterou těleso musí vydržet. Pro reálné použití je montážní moment značně menší – 1.1Nm. Z následujícího grafu vyplývá, jak se moment mění v závislosti na vzdálenosti, která je mezi polovinami konektoru.



Obr. 3.13 Závislost montážního momentu na délce zašroubování

H. Polarization effectiveness

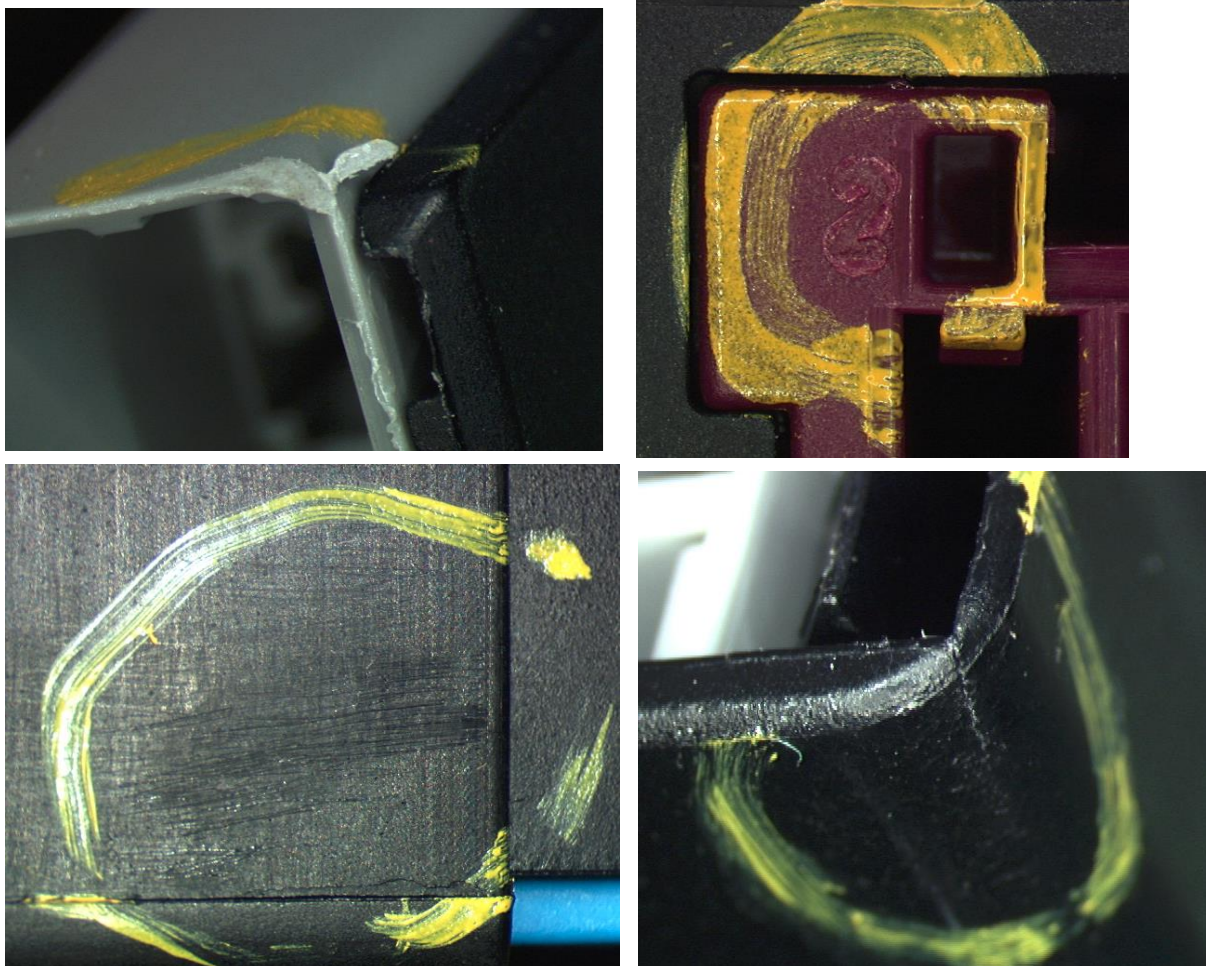
Aby se zabránilo neúmyslné chybě při použití určitého modulu je na konektoru využít poka-joke, což je systém drážek a kódování jednotlivých modulů. To zabraňuje záměně modulů v různých otvorech rámu. V testu je specifikována síla 150N, při které nesmí dojít k zapojení obvodu. Konstrukce testovaného konektoru zabraňuje špatnému zapojení. Ukázka kódování je označena červeně na obrázku 3.14.



Obr. 3.14 Prvky pro zajištění správného kódování

I, Drop test

Drop test neboli pádová zkouška spočívá v upuštění konektoru z výšky alespoň jednoho metru na tvrdý, nejlépe betonový povrch. Těleso se testuje na pád ve všech směrech. Plně osazený konektor nesmí po pádu vykazovat vážné poškození a jednotlivé komponenty musí zůstat ve své výchozí poloze.



Obr. 3.15 Poškození po pádové zkoušce

Drobná poškození po pádové zkoušce jsou zobrazena na obrázku 3.15. Žádná z těchto vady nemá vliv na funkci výrobku a jsou proto akceptovatelné. Prasklina zobrazená na obrázku 3.14 vpravo dole může, být na první pohled klasifikována jako nepřijatelná, ale nachází se v místě, které není nijak dále zatěžováno, a proto nedojde k jejímu šíření.

J, Cavity damage

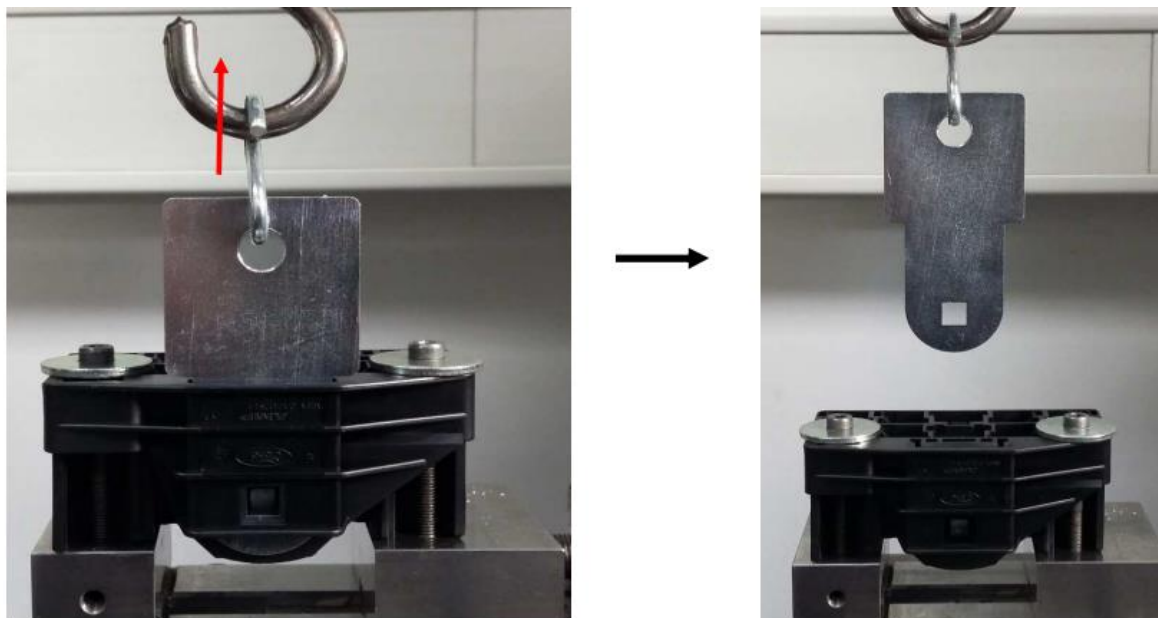
Tento test byl navrhnout jako ověření odolnosti dutiny pro terminál v případě zasunutí pojistky. Na zkoumaném tělese se dutiny pro kontakty nevyskytují, tento test tedy není požadován.

K, Header pin retention

Test je určený pro kontrolu výsuvné síly zalisovaných pinů. Na zkoumaném konektoru se žádný z těchto pinů nevyskytuje, proto byl test vynechán.

L. Mounting feature mechanical strength

Zkouška pevnosti montážního prvku pro uchycení konektoru v automobilu. Test probíhá vysunováním ocelového držáku na trhačím stroji. Ukázka zkoušky je na obrázku 3.16.

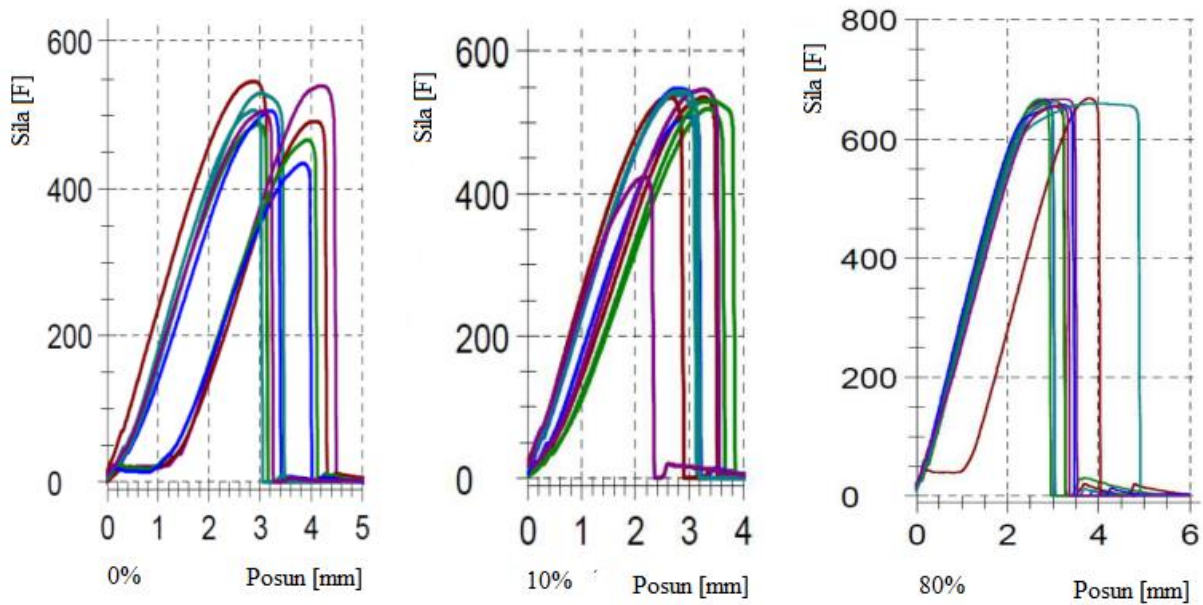


Obr. 3.16 Metoda vytrhávání montážního prvku

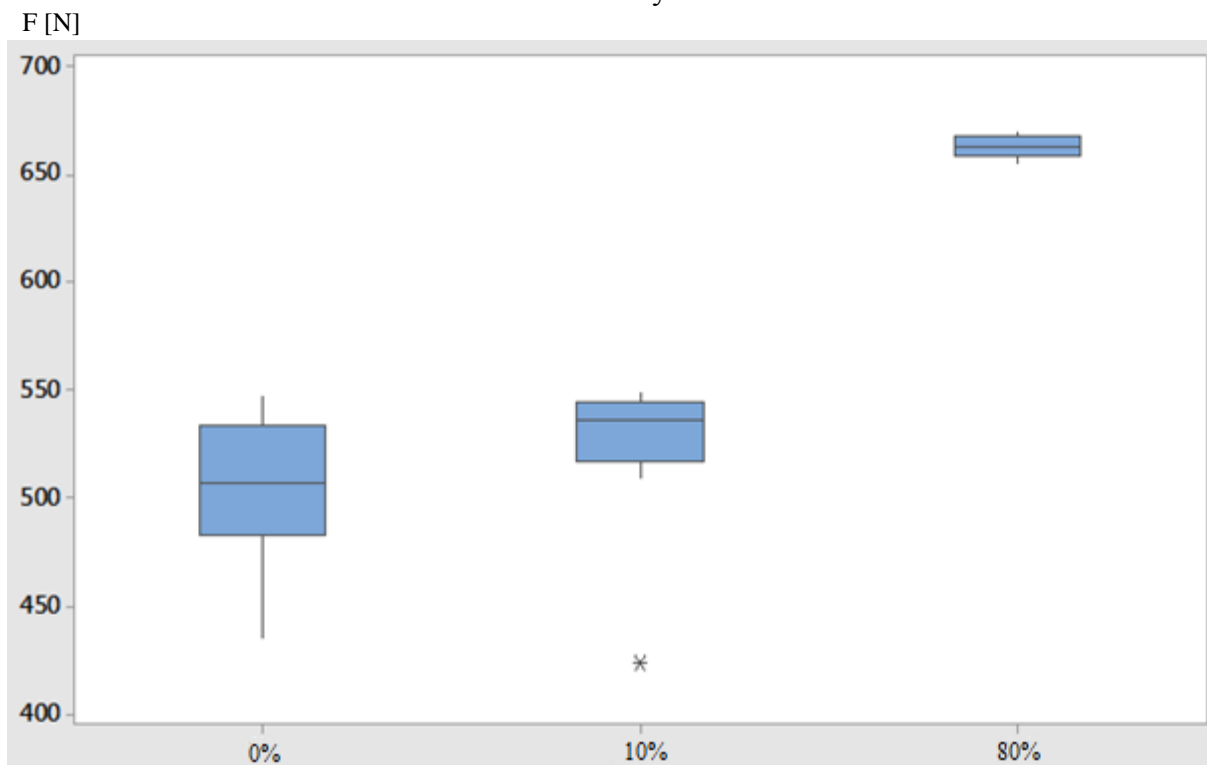
Naměřené hodnoty:

Tab. 9 Naměřené hodnoty vytrhnutí montážního prvku, test L

Maximální síla [N]	Obsah regranulátu		
	0%	10%	80%
Číslo vzorku			
1	547.0	535.8	655.6
2	488.4	519.4	663.6
3	506.4	508.6	668.6
4	530.7	539.2	662.7
5	540.8	546.5	668.4
6	492.4	535.3	669.7
7	466.8	530.8	667.4
8	434.8	548.5	658.7
9	507.7	543.5	660.8
10	506.3	423.4	656.7
Minimum	434.8	423.4	655.6
Maximum	547.0	548.5	669.7
Průměr	502.1	523.1	663.2



Obr. 3.17 Průběh síly v závislosti na dráze



Obr. 3.18 Rozdělení a zobrazení hodnot, test L

Stejně jako u předchozích testů dosahují tělesa s největším procentem regranolátu nejvyšších hodnot. Tyto hodnoty jsou také mnohonásobně stabilnější. Na obrázku 3.17 lze vidět průběh síly v závislosti na posunu.

M, Vibration shock

Test slouží k simulaci zatížení na konektoru vibracemi. Tímto způsobem je možné dokázat odolnost konektoru v reálném provozu, kde přítomnost vibrací může vést k opotřebení dutin pro uchycení kontaktů a tím ke ztrátě funkce obvodu. Proto je test zařazen do skupiny elektrických zkoušek. Vzhledem k tomu, že na zkoumaném tělese nejsou dutiny pro kontakty umístěny přímo, není zcela vhodný. Pro ověření schopnosti tělesa odolávat vibracím byla zkouška provedena v reálném provozu a to umístěním těles do automobilu, který byl denně používán. Všechny vzorky obstáli bez poškození, je tedy možné předpokládat odolnost konektoru v reálném prostředí.

3.2.2 Environmentální zkoušky [18]

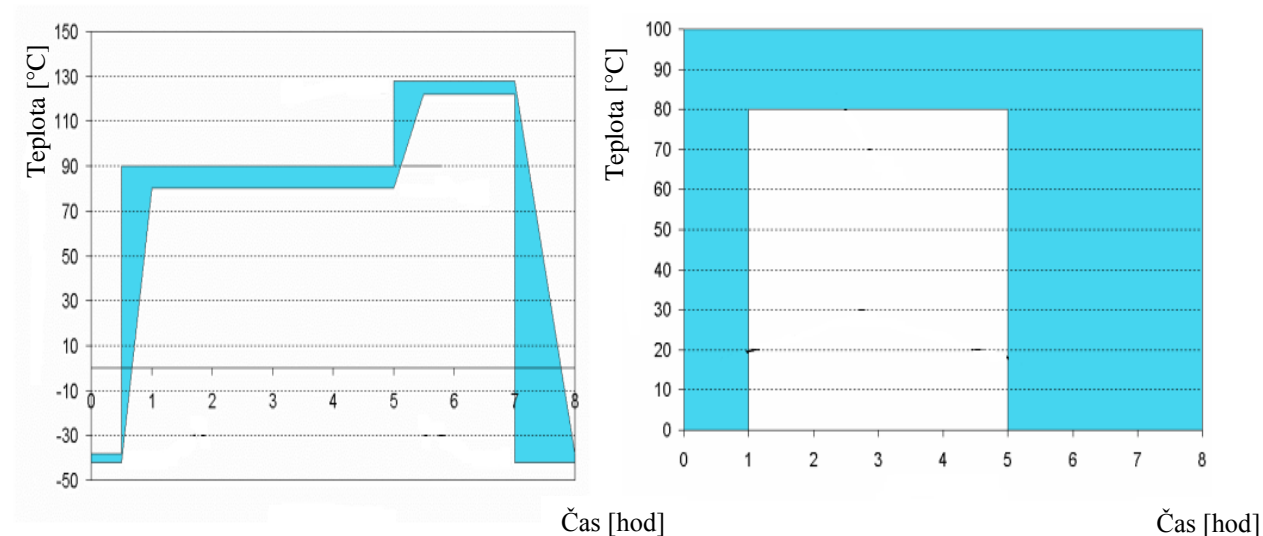
Environmentální zkoušky zkoumají vliv prostředí, zejména teploty a vlhkosti na mechanické vlastnosti a rozměry výrobku. Mezi testy s vlivem prostředí spadá teplotní šok, teplotně-vlhkostní cyklování a dlouhodobé vystavení vysoké teplotě. Plně osazená tělesa byla umístěna v testovací komoře a po ukončení každého testu byla provedena zkouška výsuvných sil modulů. Jednotlivé výsledky jsou uvedeny níže.

N, Thermal shock

Zkouška slouží k vytvoření zrychleného opotřebením rozhraní terminál-terminál. Spočívá v cyklickém zatěžování nízkými a vysokými teplotami v rozmezí (-40 – 100)°C. Zásadní podmínka testu je, že ke změně teploty (přesunu na opačnou stranu intervalu) musí dojít během 30 sekund. Terminály jsou zatěžovány celkem 100x. Během testu je snímán přechodový odpor a po ukončení testu se provádí vizuální kontrola. Jelikož je test určen k výzkumu elektrického rozhraní, není nutné pro zkoumané těleso tuto zkoušku provést.

O, Temperature/humidity cycling

Tento test zkoumá vliv cyklování teploty a vlhkosti na tvar a tím i na mechanické vlastnosti výlisku. Deset kusů z každé skupiny bylo umístěno do environmentální komory, ve které se cyklicky měnilo prostředí dle obrázku 3.19.



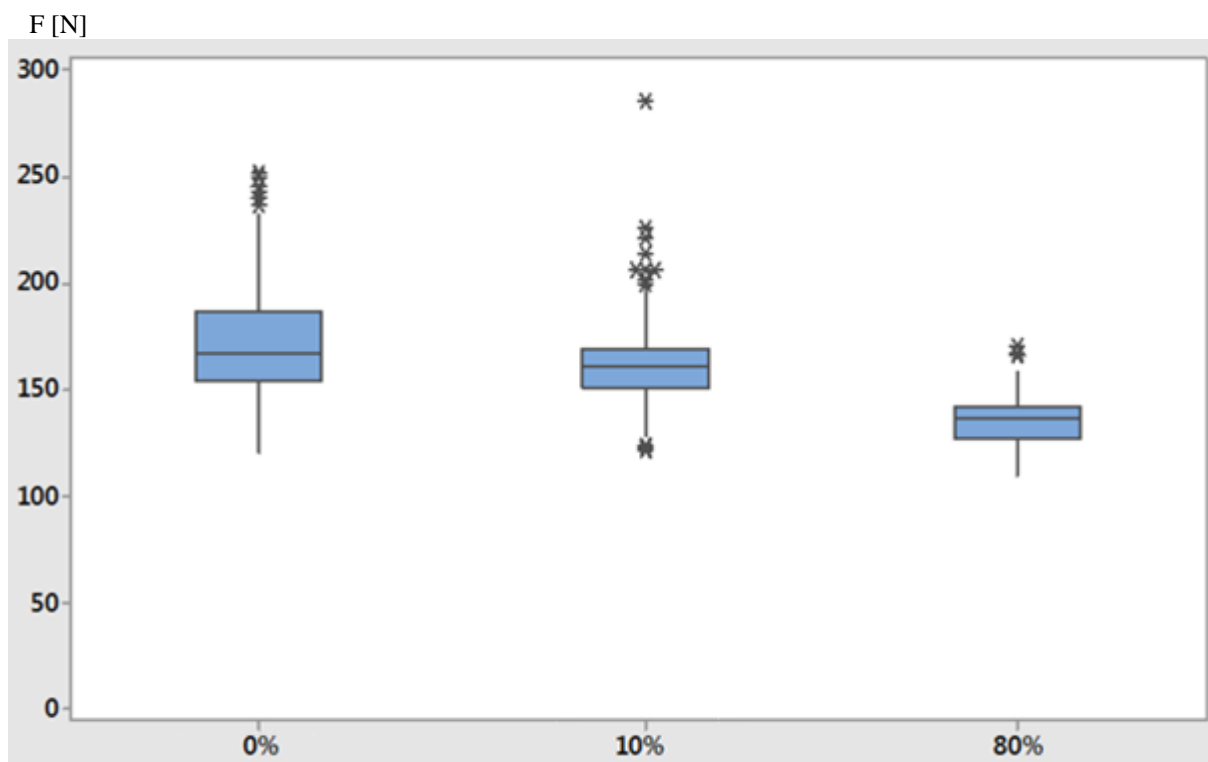
Obr. 3.19 Průběhy teploty a vlhkosti v čase během cyklování [18]

Celkový počet cyklů je 40. Těleso je tedy zatěžováno celkem 320 hodin. Poté je vizuálně zkontrolováno a je na něm proveden test výsuvných sil modulů.

Naměřené hodnoty:

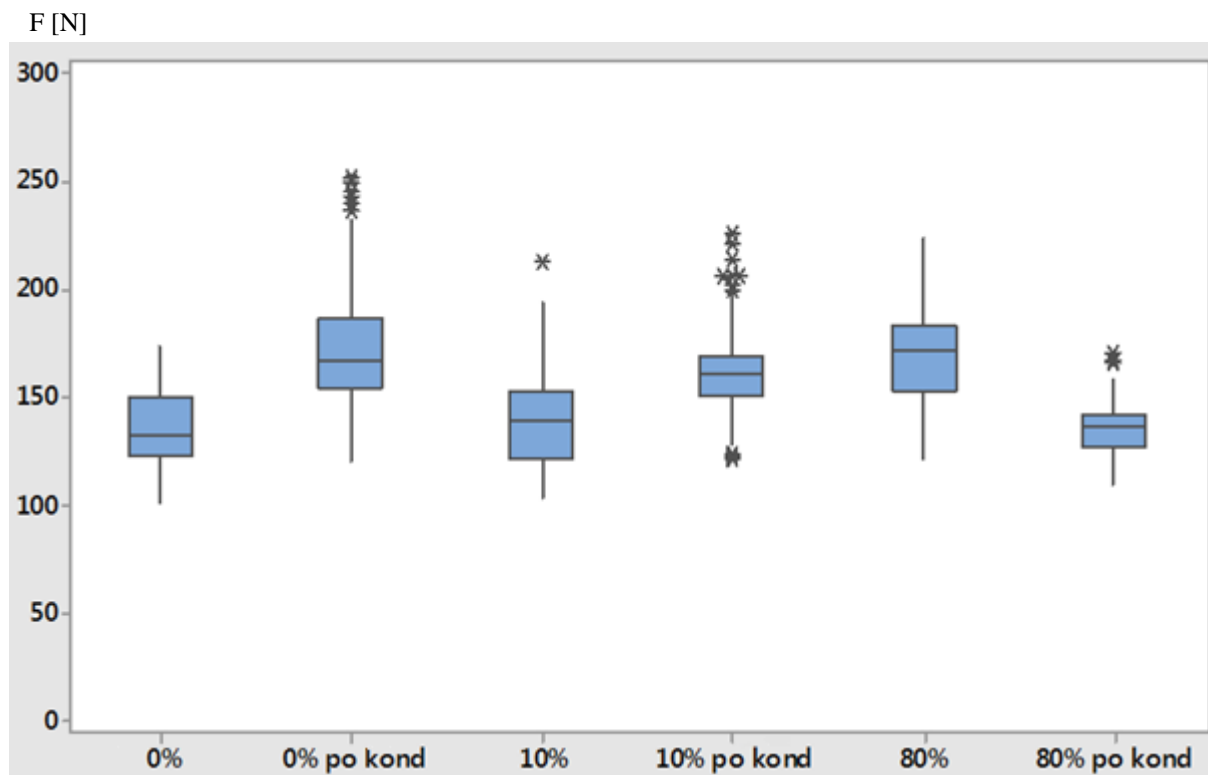
Tab. 10 Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů po cyklování

	Trh modulů po cyklu [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0%	1	9	182.8	164.2	161.6	137.3	243.9	177.1	186.3	168.6	159.8
	2	9	167.2	163.3	155.5	171.9	245.5	191.7	205.1	167.0	141.9
	3	10	159.9	157.2	146.3	133.6	252.3	191.0	188.4	173.5	124.3
	4	10	169.7	158.1	144.3	144.1	249.7	196.9	202.1	172.7	120.4
	5	10	173.6	164.7	155.5	147.8	232.6	166.3	197.8	166.4	127.6
	6	11	173.3	172.4	162.3	152.0	229.7	186.8	196.6	162.7	131.9
	7	11	172.3	173.5	145.4	124.5	240.6	181.7	188.2	167.6	136.8
	8	12	186.1	150.3	158.1	160.2	252.2	186.0	192.2	164.9	145.1
	9	12	168.8	162.5	147.9	152.3	207.2	176.8	197.5	169.1	164.3
	10	12	167.6	161.2	156.7	140.2	237.3	170.9	164.0	190.2	144.3
10%	1	9	285.7	149.2	161.9	135.7	226.2	157.9	157.4	170.2	142.8
	2	9	169.8	157.3	166.2	164.5	206.1	164.3	160.6	168.1	145.8
	3	10	161.9	160.4	159.3	142.2	214.3	142.5	173.2	134.1	143.2
	4	10	165.5	157.4	147.3	130.6	196.4	170.0	182.5	159.6	122.0
	5	10	165.0	153.6	154.5	152.5	221.6	167.6	186.0	165.6	137.6
	6	11	160.9	167.5	149.6	151.0	150.8	146.1	186.4	159.8	128.5
	7	11	158.9	162.8	154.3	137.7	199.8	161.0	179.8	162.5	127.9
	8	12	168.1	163.9	155.6	147.7	206.0	172.8	197.9	170.0	151.6
	9	12	172.8	156.4	158.0	122.4	180.6	173.1	202.6	155.2	156.6
	10	12	176.4	155.7	155.8	123.5	168.3	159.6	206.0	162.5	151.6
80%	1	9	132.7	129.9	125.2	111.6	127.3	129.3	157.4	148.5	122.2
	2	9	136.9	142.7	137.0	120.0	132.4	140.8	170.3	142.7	125.9
	3	10	136.2	142.9	128.3	122.0	117.1	142.9	149.2	142.4	127.8
	4	10	139.5	137.8	130.3	117.9	131.7	146.5	159.1	153.8	109.8
	5	10	141.4	137.5	123.4	123.3	150.3	136.5	147.5	148.0	127.7
	6	11	139.3	141.6	130.7	126.2	128.1	141.0	166.5	145.1	126.2
	7	11	134.4	142.3	127.6	118.3	125.8	135.4	171.1	138.7	141.6
	8	12	131.5	144.5	139.9	128.1	123.0	142.2	156.2	144.9	110.8
	9	12	139.2	140.8	135.9	130.5	129.4	146.1	167.8	144.8	125.5
	10	12	137.8	137.8	134.9	112.0	119.9	137.0	150.8	141.0	120.2



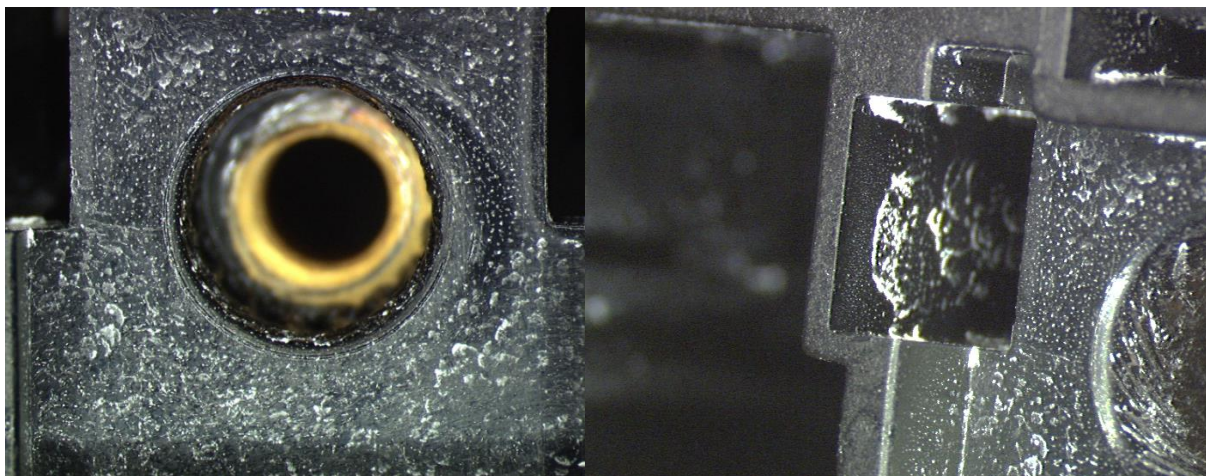
Obr. 3.20 Rozdělení a zobrazení hodnot, test O

Pro přehlednější porovnání kusů před a po kondicionování je na obrázku 3.21 zobrazeno porovnání všech hodnot v jednom grafu.



Obr. 3.21 Rozdělení a zobrazení hodnot, test O, porovnání před a po cyklování

Z porovnání je jasné, že výsledky kusů po kondicionování jsou více nestabilní a skupiny nejsou statisticky stejné. Podmínka pro úspěšné absolvování testu je síla minimálně 80N. Tuto podmínku všechny kusy splnily. U čistého materiálu společně s 10% recyklovaného materiálu došlo k navýšení síly. Při vizuální kontrole bylo zjištěno značné pokřivení konektoru a tedy i změna tvaru otvorů pro moduly. Tento jev může být způsoben materiálem, protože polyamid je silně nasáklý a při vyšší teplotě se jeho nasáklivost ještě zrychluje. Změna rozměrů může způsobit rozdíly mezi potřebnými silami. Na mnoha místech tělesa se vyskytovaly bílé skvrny, které jsou způsobeny právě vlhkostním zatížením. Ukázka skvrn je na obrázku 3.22.



Obr. 3.22 Skvrny na tělese po cyklování

P, High temperature exposure

Test spočívá ve vystavení těles vysoké teplotě po dlouhou dobu. Konkrétně se jedná o teplotu 100°C po dobu 1008 hodin. Teplota je zvolena dle normy USCAR2 a je určena pro výrobky použité v kabině pasažérů. Po skončení testu je opět provedena vizuální kontrola a zkouška výsuvných sil modulů.

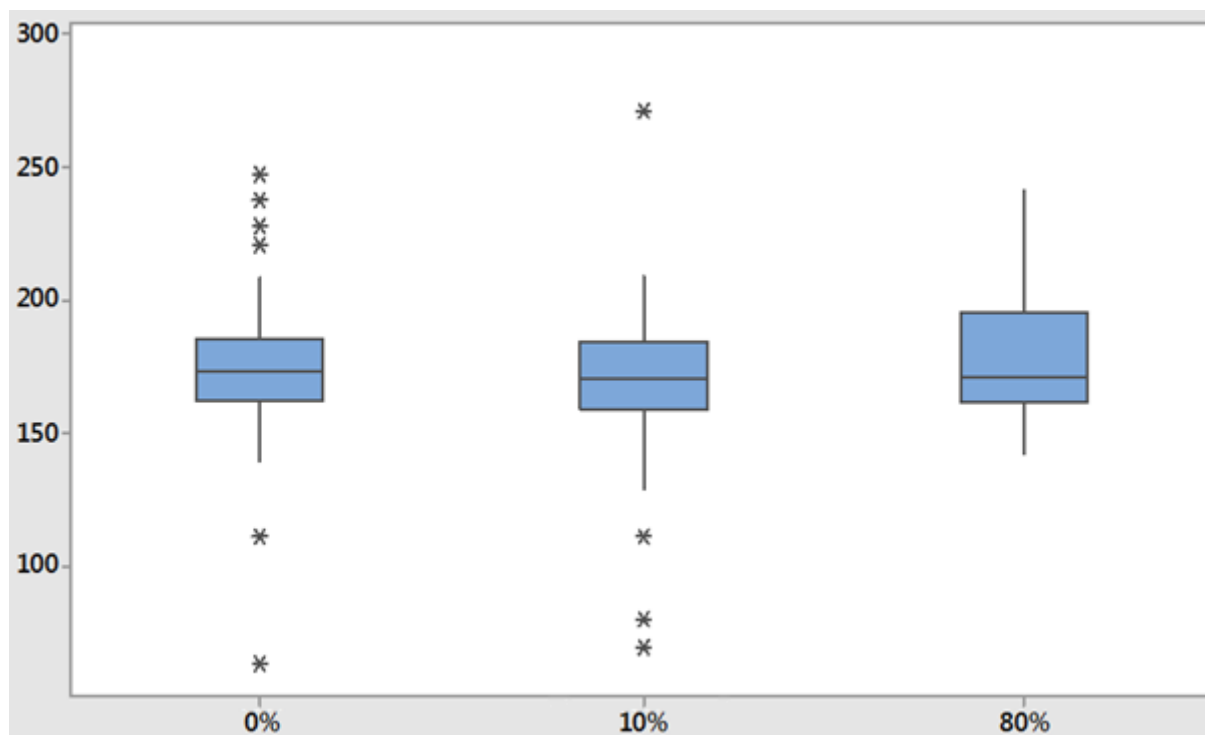
Naměřené hodnoty:

Tab. 11 Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů po cyklování, test O

	Trh modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0%	1	9	168.5	177.4	160.7	163.7	181.5	184.1	247.2	174.0	63.3
	2	9	173.9	158.9	165.6	159.8	185.1	188.8	207.3	186.3	147.9
	3	10	174.8	167.8	166.6	176.6	172.9	168.0	191.2	184.0	162.3
	4	10	174.3	162.6	170.9	150.2	162.0	187.2	193.5	154.1	172.8
	5	10	174.9	194.1	160.3	166.7	171.9	188.2	196.0	185.0	148.1
	6	11	177.1	167.7	167.2	146.0	170.0	175.4	194.9	186.6	171.0
	7	11	182.3	164.0	166.9	151.9	181.1	165.3	227.9	188.4	167.8
	8	12	185.9	160.9	155.4	141.8	179.2	175.5	208.4	184.3	161.2
	9	12	169.8	189.8	154.1	173.9	183.3	167.1	220.7	181.1	143.9
	10	12	193.7	173.5	152.1	139.3	167.6	111.3	237.3	189.1	158.5

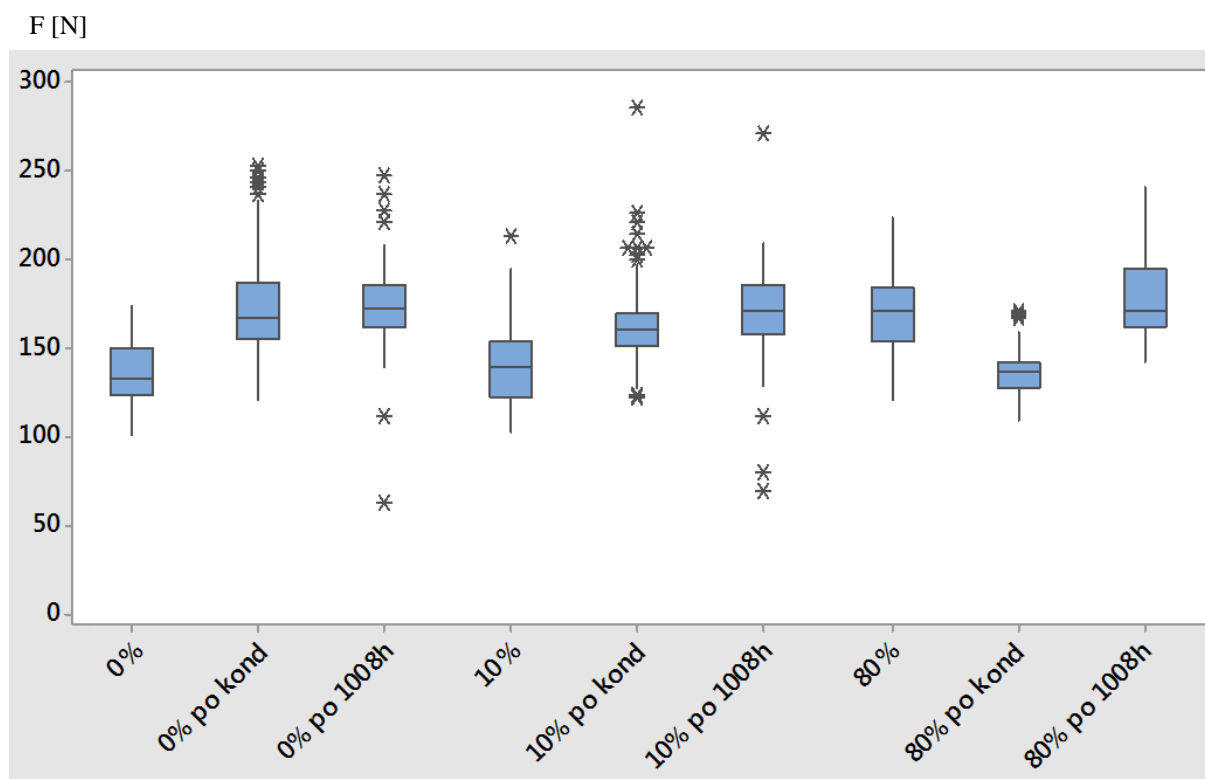
	Trh modulů [N]		Pozice								
	Vzorek	Kavita	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10%	1	9	178.5	170.7	152.7	156.0	184.8	189.9	200.2	171.7	160.5
	2	9	175.0	170.5	161.4	167.0	172.3	155.4	188.4	178.0	151.9
	3	10	177.0	161.1	153.3	146.0	170.5	163.8	189.5	178.8	148.6
	4	10	176.0	184.8	151.0	163.0	170.3	178.5	201.2	170.7	138.5
	5	10	171.1	169.5	155.1	164.8	185.9	161.0	185.5	174.2	137.4
	6	11	207.6	190.2	175.3	187.2	196.6	191.7	271.2	202.8	206.8
	7	11	160.3	209.1	128.8	162.9	167.4	166.2	188.4	176.1	144.2
	8	12	173.6	190.2	161.5	141.9	185.6	170.9	168.9	69.5	132.6
	9	12	175.9	144.9	159.4	167.7	111.4	162.3	196.7	79.9	150.8
	10	12	183.3	184.0	151.2	139.2	185.4	161.2	209.2	177.8	160.5
80%	1	9	171.7	173.1	165.6	175.4	166.7	169.1	166.2	169.3	170.1
	2	9	170.4	171.1	195.1	162.6	173.3	157.2	181.1	175.2	194.9
	3	10	165.5	163.6	142.3	161.4	171.4	145.3	163.7	158.0	150.8
	4	10	169.8	150.8	166.0	141.8	157.1	160.9	164.4	156.7	166.0
	5	10	154.8	155.5	148.3	154.8	223.0	236.1	238.6	223.5	217.6
	6	11	218.1	237.5	216.2	198.6	241.3	183.3	184.7	176.3	165.0
	7	11	164.0	160.4	185.8	172.5	187.8	182.2	197.1	203.9	192.3
	8	12	221.1	209.8	195.5	198.0	203.9	216.3	208.5	184.0	178.5
	9	12	183.4	201.6	182.0	199.9	189.5	200.0	170.9	183.5	155.4
	10	12	144.3	144.4	167.8	155.9	153.0	142.9	163.6	163.3	156.9

F [N]



Obr. 3.23 Rozdělení a zobrazení hodnot, test P

Na obrázku 3.24 je porovnání všech environmentálních testů – cyklování, 1008h s výchozími hodnotami.



Obr. 3.24 Rozdělení a zobrazení hodnot, environmentální testy

Vzorky, které byly v peci po dobu 1008 hodin, mají největší rozptyl hodnot. Na druhou stranu dosahují tyto kusy nejlepších hodnot výsuvných sil, což může být způsobeno působením tepla bez přítomnosti vlhkosti. Z materiálu se vypařila zbytková vlhkost a došlo tak ke změně jeho vlastností, zejména pevnosti. Tři hodnoty ze všech naměřených nedokázaly splnit podmínku minimálně 80N. Všechny špatné hodnoty byly naměřeny u skupin 0% a 10%. Skupina s nejvyšším obsahem regranulátu v testu uspěla.

V. Temperature/Humidity

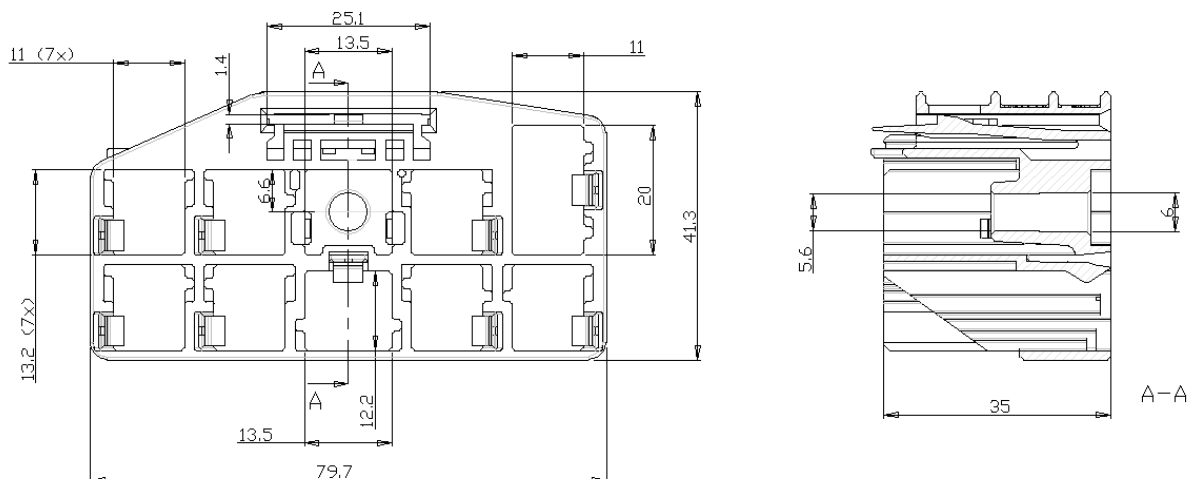
Součástí normy označená jako test „V“ udává testovací matici environmentálních testů. Její použití tedy spočívá pouze ve stanovení správného pořadí testů a počtu kusů. Z přehledu (obr. 3.25) lze vyzorovat, že environmentální testy se týkají hlavně elektrického rozhraní terminál-terminál a ne plastového tělesa.

Test Name		Vibration		Thermal Shock	Temp./Humidity Cycling	High Temperature Exposure
		M	N	O	P	
Test Sequence ID		10	10	10	10	
Sample Size minimum ^b (Refer to individual procedures)	Connector	10	10	10	10	
	Terminal	10	10	10	10	
Applicable Cable Size		Lg	Any	Sm	Sm	
5.1	General	1	1	1	1	
5.1.8	Visual Inspection	2, 8	2, 8	2, 9	2, 8	
5.1.7	Connector and/or Terminal Cycling	3	3	3	3	
5.1.9	Circuit Continuity Monitoring (3)	5 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾			
5.3.1	Dry Circuit Resistance (3)	4, 6	4, 6	4 ⁽²⁾ , 6 ⁽²⁾	4, 6	
5.3.2	Voltage Drop (3)	7	7	7 ⁽²⁾	7	
5.4.1	Terminal-Connector Retention Force			10	9	
5.4.6	Vibration/Mechanical Shock	5 ⁽⁴⁾				
5.5.1	Insulation Resistance			8 ^(1,2)		
5.6.1	Thermal Shock		5 ⁽⁴⁾			
5.6.2	Temperature/Humidity Cycling			5		
5.6.3	High Temperature Exposure				5	

Obr. 3.25 Testovací matice testu V

3.2.3 Porovnání rozměrů

Jelikož má obsah recyklovaného materiálu vliv na tvar vylisku, jsou v této kapitole uvedeny náměry základních rozměrů. Z důvodu ochrany citlivých dat nejsou náměry kompletní a neobsahují povolené tolerance. Rozměry jsou uvedeny pro jednotlivé skupiny. Výrobní nástroj je čtyřnásobný, proto jsou jednotlivé dutiny označeny čísly 9-12. Měření proběhlo na CNC měřícím mikroskopu Nikon MM-60. Základní rozměry výrobku vidíme na obrázku 3.26.



Obr. 3.26 Rozměry výrobku

- Čistý materiál

Tab. 12 Náměry těles

Rozměr [mm]	Naměřená hodnota [mm]			
	ČISTÝ MATERIÁL			
nominal	9	10	11	12
11	11.079	11.108	11.063	11.058
11	11.045	11.066	11.029	11.065
11	11.150	11.144	11.141	11.149
11	11.124	11.142	11.115	11.147
11	11.142	11.086	11.065	11.125
11	11.077	11.006	11.018	11.036
11	11.098	11.076	11.088	11.114
6,6	6.597	6.569	6.517	6.565
13,5	13.546	13.494	13.514	13.471
25,1	25.275	25.263	25.276	25.287
11	11.105	11.146	11.028	11.120
20	20.031	20.056	20.016	20.012
79,7	79.886	79.886	79.882	80.048
13,5	13.646	13.642	13.636	13.645
12,2	12.169	12.155	12.159	12.174
13,2	13.182	13.188	13.187	13.183
13,2	13.259	13.263	13.247	13.296
13,2	13.295	13.291	13.251	13.306

13,2	13.161	13.166	13.187	13.190
13,2	13.212	13.219	13.215	13.245
13,2	13.264	13.207	13.215	13.224
13,2	13.222	13.256	13.206	13.276
1,4	1.325	1.386	1.352	1.338
Φ 5,6	5.631	5.633	5.626	5.637
Φ 6	6.091	6.083	6.092	6.092
41.3	41.16	41.15	41.17	41.17
35	35.12	35.19	35.18	35.13

- 10% regranulátu

Rozměr [mm]	Naměřená hodnota [mm]			
	10%			
nominal	9	10	11	12
11	11.088	11.105	11.055	11.049
11	11.059	11.045	11.041	11.051
11	11.149	11.140	11.121	11.149
11	11.141	11.147	11.109	11.127
11	11.142	11.087	11.074	11.137
11	11.072	11.003	11.037	11.044
11	11.110	11.070	11.101	11.088
6,6	6.610	6.529	6.517	6.555
13,5	13.521	13.476	13.523	13.475
25,1	25.288	25.253	25.260	25.280
11	11.150	11.140	11.147	11.136
20	20.052	20.021	20.021	20.006
79,7	79.879	79.864	79.863	80.034
13,5	13.629	13.635	13.615	13.598
12,2	12.203	12.199	12.169	12.175
13,2	13.238	13.196	13.215	13.203
13,2	13.301	13.261	13.235	13.294
13,2	13.342	13.286	13.259	13.311
13,2	13.223	13.179	13.231	13.195
13,2	13.234	13.225	13.209	13.220
13,2	13.252	13.204	13.203	13.214
13,2	13.241	13.229	13.237	13.277
1,4	1.331	1.353	1.343	1.360
Φ 5,6	5.591	5.627	5.654	5.680
Φ 6	6.091	6.073	6.093	6.084
41.3	41.16	41.17	41.12	41.18
35	35.18	35.12	35.18	35.26

- 80% regranulátu

Rozměr [mm]	Naměřená hodnota [mm]			
	80%			
nominal	9	10	11	12
11	11.042	11.107	11.021	11.087
11	11.031	11.045	11.042	11.044
11	11.106	11.130	11.068	11.050
11	11.134	11.116	11.077	11.082
11	11.064	11.051	11.133	11.040
11	11.031	11.014	11.048	11.026
11	11.083	11.016	11.047	11.034
6,6	6.577	6.537	6.514	6.569
13,5	13.511	13.507	13.522	13.427
25,1	25.224	25.230	25.200	25.221
11	11.125	11.023	11.009	11.098
20	20.007	20.001	20.058	20.000
79,7	79.690	79.770	79.717	79.800
13,5	13.631	13.606	13.589	13.588
12,2	12.206	12.233	12.212	12.222
13,2	13.222	13.211	13.155	13.235
13,2	13.290	13.293	13.229	13.229
13,2	13.271	13.298	13.250	13.269
13,2	13.245	13.203	13.249	13.231
13,2	13.235	13.231	13.275	13.227
13,2	13.205	13.216	13.268	13.248
13,2	13.282	13.290	13.204	13.259
1,4	1.338	1.391	1.382	1.376
Φ 5,6	5.608	5.621	5.611	5.596
Φ 6	6.085	6.095	6.092	6.080
41.3	41.17	41.19	41.12	41.16
35	35.15	35.12	35.03	35.14

Z rozměrů v jednotlivých tabulkách lze pozorovat, že vliv obsahu regranulátu na tvar výrobku je značný. Zeleně označené hodnoty jsou pro rozměr nejmenší ze všech skupin a červeně označené naopak největší. Při pohledu na výsledky testů nekondiciovaných kusů je zřejmé, že díly s vyšším obsahem recyklovaného materiálu potřebují větší sílu pro zasunutí a vysunutí jednotlivých modelů. Měření ukazuje, že otvory pro moduly u materiálu s obsahem 80% regranulátu mají rozměry menší než ostatní skupiny. To může způsobit nárůst síly.

4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Důvod výzkumu vlivu recyklovaného materiálu je v možnosti jeho využití oproti materiálu novému. Je tak možné uspořit značné náklady na pořizování nového materiálu.

4.1 Ekonomické zhodnocení

Jelikož forma pro výrobu, stroj a ostatní zařízení již jsou majetkem firmy, která stojí za zadáním této práce, není potřeba uvažovat náklady potřebné na jejich pořízení. Ekonomické zhodnocení se tedy týká především možné úspory na nákupu nového materiálu. Pokud dokážeme využít recyklovaný materiál, není nutno nakupovat velké množství materiálu originálního. Výpočet úspory je založen na množství uspořené materiálu. Z důvodu ochrany citlivých dat jsou uvedené hodnoty zaokrouhlené, a tak zcela neodpovídají realitě.

- Cena nového materiálu PA
 $P = 3.5\text{€/kg}$
- Roční výroba
 $N = 3\,000\,000\text{ ks}$
- Hmotnost součásti z originálního materiálu
 $m = 31\text{g}$

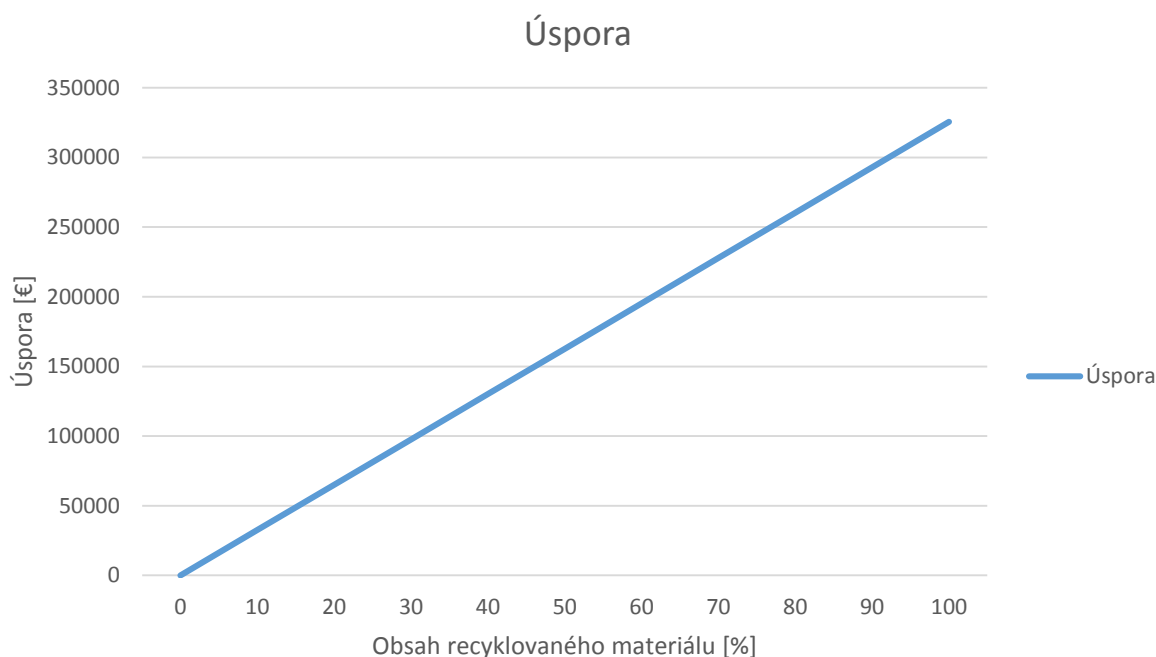
Celková roční spotřeba materiálu

$$N_{mat} = N \cdot m = 3\,000\,000 \cdot 31\text{g} = 93\text{ tun} \quad (4.1)$$

Roční náklady na nový materiál

$$P_{rok} = P \cdot N_{mat} = 3.5 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot 93\,000\text{kg} = 325\,500\text{€} \quad (4.2)$$

Tato hodnota znamená, že s každým procentem uspořené materiálu můžeme ušetřit 3 255€.



Obr. 4.1 Velikost úspory v závislosti na obsahu recyklovaného materiálu

Na obrázku 4.1 můžeme vidět závislost úspory na obsahu recyklovaného materiálu. Z možné úspory je potřeba odečíst náklady na testování a výrobu vzorků.

- Výrobní cena jednoho kusu

$$P_{vyr} = 4kč$$

- Množství vzorků

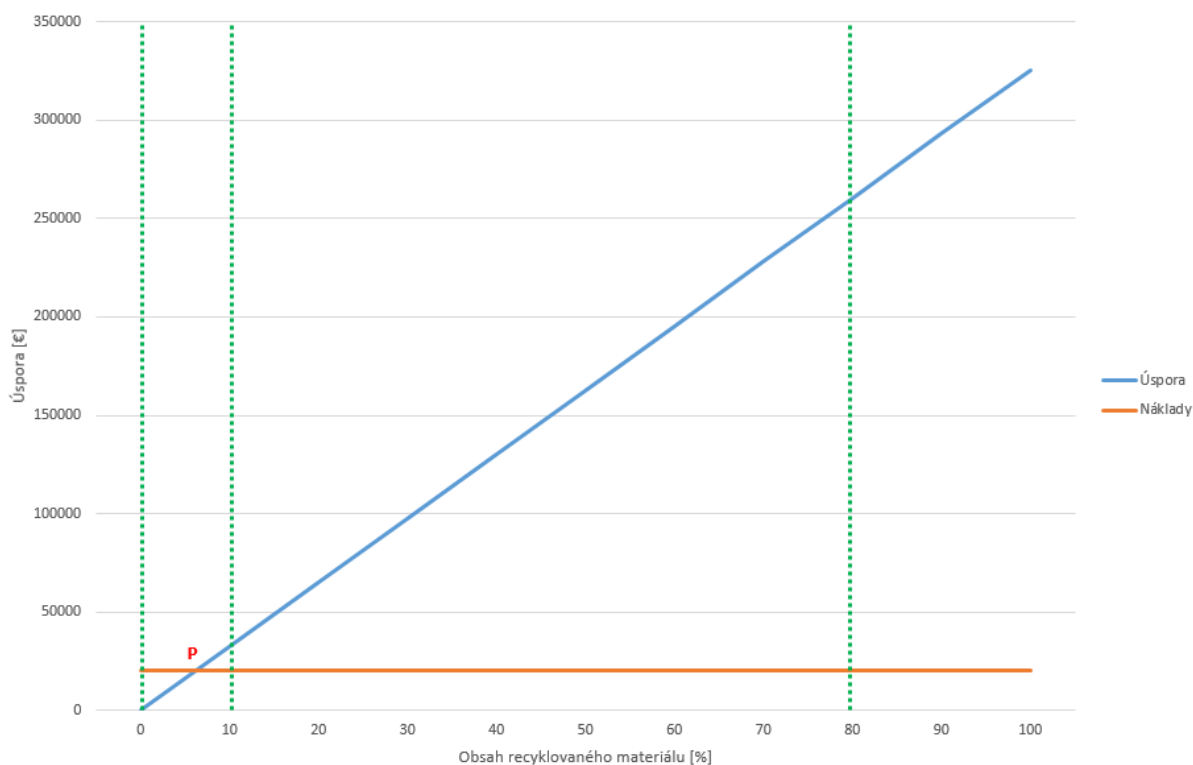
$$N_{vz} = 3 \times 140ks = 420ks$$

- Náklady na výrobu vzorků

$$P_{vz} = P_{vyr} \cdot N_{vz} = 4kč \cdot 420 = 1680kč = \frac{1680kč}{27.02kč} = 63€$$

Náklady testování se liší v závislosti na náročnosti testu a zkušenosti testovacího technika. Je proto velmi těžké je vyčíslit ale částka lze odhadnout na 20 000€.

Ze všech nákladů je zřejmé, že využití recyklovaného materiálu je výhodné od 7% výše. V bodu P na obrázku 4.2 nastane rovnováha nákladů a úspor.



Obr. 4.2 Porovnání nákladů a úspor při použití regranulátu

Rozhodnutí zdali použít recyklovaný materiál se bude zakládat na výsledku mechanických testů. Z ekonomického hlediska je využití tohoto materiálu velmi výhodné.

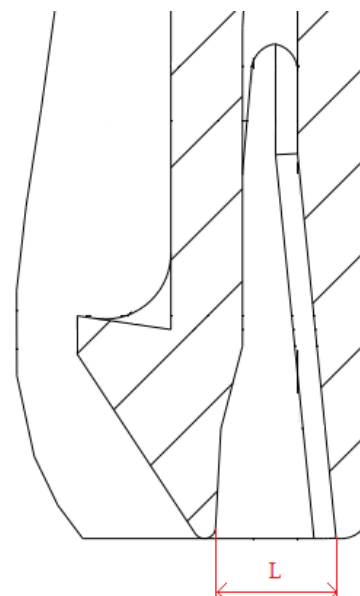
4.2 Technické zhodnocení

Tab. 13 Přehled výsledků testů

		E1 [N]	E2 [N]	E3 [N]	F	G	H	I	L [N]	O [N]	P [N]
0%	Max	57.0	212.6	2924.8	-	-	-	-	547.0	252.3	247.2
	Min	7.9	102.9	2749.3					434.8	120.4	63.3
	Průměr	27.9	138.2	2837.3					502.1	173.1	173.1
10%	Max	52.3	173.8	3038.5	-	-	-	-	548.5	285.7	271.2
	Min	5.5	101.3	2725.6					423.4	122.0	69.5
	Průměr	27.8	135.7	2892.5					523.1	164.1	169.3
80%	Max	76.0	224.0	3494.8	-	-	-	-	669.7	171.1	241.3
	Min	8.0	121.5	2817.5					655.6	109.8	141.8
	Průměr	35.9	168.8	3236.3					663.2	136.2	178.4

Dle výsledků ze všech uskutečněných testů je vliv regranulátu na mechanické vlastnosti vylisku obrovský. Ve většině testů dosahoval materiál vyrobený z největšího objemu recyklovaného plastu nejlepších hodnot. Z teorie zpracování plastů plyne, že pokud je materiál podroben více tepelným cyklům bude polymerní řetězec degradovat a tím se mnohonásobně zhorší vlastnosti. Provedenými testy se tato myšlenka nepotvrdila, i když je možné říci, že hodnoty naměřené u vyšších obsahů regranulátu jsou mnohem nestabilnější.

Při zkoumání příčiny vyšších sil je potřeba se zaměřit na několik parametrů. Nejdůležitější jsou rozměry, základní parametry materiálu a velikost skleněných vláken. Pro zásuvné a výsuvné síly modulů jsou nejdůležitější rozměr a ohyb zobáčku od stěny tělesa. Rozměr je zobrazen na obrázku 4.3 a rozměry pro dutinu 9 jsou v tabulce 14.



Tab. 14 Rozměr L

Obr. 4.3 Vzdálenost zobáčku od stěny

Rozměry zobáčku [mm]	Kavita 9			Kavita 10			Kavita 11			Kavita 12		
	0%	10%	80%	0%	10%	80%	0%	10%	80%	0%	10%	80%
2.64	2.65	2.69	2.60	2.64	2.58	2.57	2.6	2.61	2.6	2.58	2.54	
2.66	2.62	2.70	2.64	2.64	2.66	2.52	2.67	2.61	2.62	2.66	2.64	
2.56	2.57	2.58	2.62	2.6	2.61	2.53	2.6	2.54	2.54	2.61	2.55	
2.46	2.47	2.53	2.47	2.47	2.44	2.54	2.39	2.55	2.48	2.44	2.48	
2.53	2.47	2.53	2.49	2.48	2.46	2.45	2.54	2.49	2.48	2.46	2.52	
2.51	2.47	2.52	2.52	2.49	2.52	2.46	2.58	2.59	2.52	2.52	2.58	
2.56	2.58	2.58	2.47	2.5	2.49	2.42	2.52	2.56	2.49	2.49	2.54	
2.37	2.27	2.37	2.34	2.31	2.35	2.43	2.33	2.48	2.41	2.35	2.43	
2.31	2.31	2.33	2.23	2.27	2.37	2.26	2.25	2.27	2.27	2.37	2.35	

Již z úplných náměřů je zřejmé, že regranulát významně ovlivňuje rozměry vylisku. V tabulce rozměru L je jasně zřejmé, že ve skupině 80% je vzdálenost pojistného zobáčku největší a proto je zapotřebí největší síly.

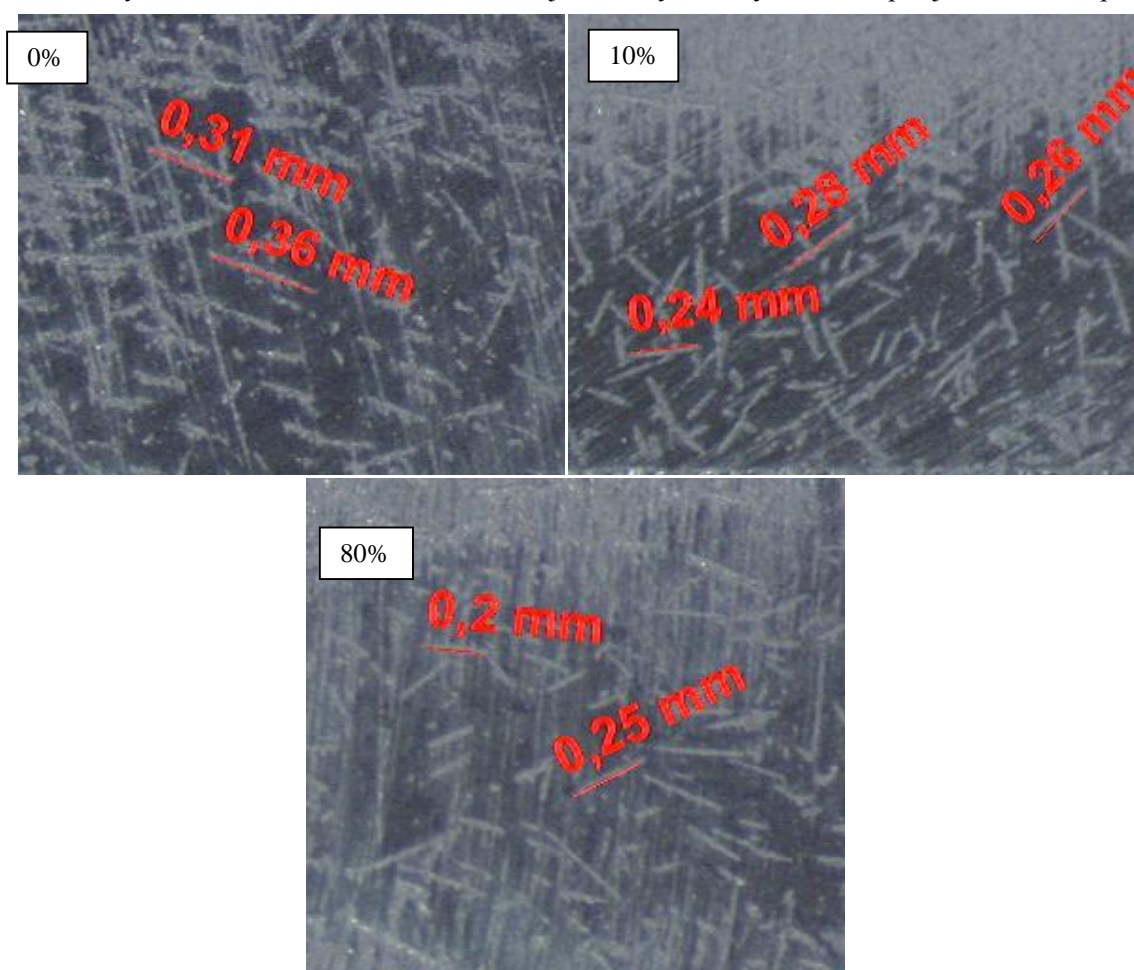
Další vlastnost, která může ovlivnit pevnost materiálu je jeho hustota. Z principu semikrystalické struktury vyplývá, že pokud dokážeme zaplnit mezikrystalické prostory dalším materiálem dosáhneme lepších pevnostních hodnot. Předpokládá se, že objem materiálu je ve všech skupinách stejný, jelikož byl pro výrobu použit stejný stroj, stejná forma a stejné parametry. Změna hustoty lze tedy nejlépe vidět na hmotnosti součástí. Naměřené hmotnosti jsou v tabulce 12.

Tab. 15 Hmotnost součástí

Kavita	0%	10%	80%
9	27.989g	27.826g	27.648g
10	27.725g	27.793g	27.563g
11	27.885g	27.801g	27.586g
12	27.812g	27.762g	27.612g
Průměr	27.85g	27.80g	27.60g

Hustota materiálu s narůstajícím obsahem recyklovaného materiálu klesá. Uvedený předpoklad se tady nepotvrdil a platí přesný opak.

Poslední charakteristikou, která se dá sledovat a může ovlivnit pevnost vylisku je délka skelných vláken. Při dalším tavení materiálu znovu dochází k plastifikaci v tavicí komoře a otáčení šneku způsobuje lámání skleněných vláken uvnitř materiálu. Na dílech byly provedeny výbrusy a skleněná vlákna tak byla možno zobrazit. Na obrázku 4.4 jsou délky některých vláken pro jednotlivé skupiny.



Obr. 4.4 Délky skelných vláken v materiálu

V předchozím odstavci byly zmíněny parametry vstřikování. Pro technické hodnocení je vhodné zmínit, že oproti standardní výrobě byly parametry upraveny. Důvodem úpravy byl vznik studeného spoje na skupině 80%. Studený spoj je místo, kde se setkávají dva toky taveniny. V tomto místě nemá už čelo taveniny dostatečnou teplotu, aby se spojilo s druhým čelem. V extrémním případě není v oblasti studeného spoje materiál dotečen. I v případě, že studený spoj není viditelný, dochází k obrovskému poklesu pevnosti v tomto místě. Proto byla během vstřikování upravena teplota. Studený spoj nevznikal a díly byly vhodné pro další testování.



Obr. 4.5 Studený spoj

Z technického hlediska materiál s obsahem recyklovaného materiálu vyhovuje. Kusy z obou skupin splnily všechny zkoušky a u mnoha dosahovali lepších výsledků než kusy z původního materiálu.

5 ZÁVĚRY

Jako nejvhodnější technologie pro výrobu zadaného dílu by zvolena standardní technologie vstřikování. Tím se ověřilo, že společnost produkující těleso vyrábí vhodnou metodou. Díky dostupnosti správného stroje a strojních součástí byl pro výrobu navrhnut stroj DEMAG IntElect 150/520-610.

Hlavní výzkum se zaměřil na možnost použití recyklovaného materiálu pro vstřikování. Recyklovaný materiál je dostupný ze samotné produkce z důvodu špatných kusů a použití vtokové soustavy. Předpokládá se, že recyklovaný materiál vlivem dalšího tepelného zatížení ztrácí své vlastnosti a dochází k jeho degradaci. Zkoumané těleso je určeno pro trh ve Spojených státech, proto se k ověření domněnky o degradaci zvolilo testování dle normy USCAR2. Validační matice obsahovala několik testů mechanických a environmentálních. Výsledky testů ukázaly, že vliv regranulátu na mechanické vlastnosti nezanedbatelný a ve všech případech došlo ke zlepšení vlastností.

Při využití regranulátu došlo k velkému ovlivnění rozměrů. To je jeden z důvodů proč došlo k navýšení sil. Prvky, které zajišťují zamknutí jednotlivých prvků se přiblíženo do svých funkčních poloh a tím více zajistili sestavu.

Využití recyklovaného materiálu má velkou výhodu v úspoře původního materiálu. Z tohoto důvodu je možné snížit náklady na nákup nového materiálu. Celková výše úspory je rovna 3255€ při použití 1% recyklovaného materiálu. Celkové náklady na testování jsou přibližně 20000€. Z těchto hodnot vyplývá, že první úspora nastane při využití 7% recyklátu.

Veškeré výsledky jsou aplikovány v sériové výrobě. Tím dokázala společnost, která tuto práci zadala snížit náklady a posílit tak svoji pozici na trhu.

Seznam použitých zdrojů

- 1 MARTIN S. SILBERBERG. *Principles of general chemistry*. 2nd ed. Dubuque, IA: McGraw-Hill, 2010. ISBN 0077274326.
- 2 LENFELD, Petr. Technologie II: Část II - Zpracování plastů:. Technická univerzita Liberec [online]. 2008 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm.
- 3 KANDUS, Bohumil. Přednášky a podklady do cvičení z předmětu HTZ. 2010.
- 4 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Kurz Technolog vstřikování plastů, Brno 2015
- 5 *Navlhavost a sušení plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf
- 6 EHRIG, R. J. *Plastics recycling: products and processes*. New York: Distributed in the U.S.A. and Canada by Oxford University Press, c1992. ISBN 0195209346.
- 7 TE CONNECTIVITY, Školící materiály Technologie vstřikování
- 8 *Fyzikální základy vědy o materiálu* [online]. Brno: Pedagogická fakulta Masarykovy university, 2006 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/>
- 9 ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002503.
- 10 SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 8086229157.
- 11 *Polyamides* [online]. York: The University of York, 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polyamides.html>
- 12 ZOUHAR, Jan. Přednášky a podklady do cvičení z předmětu HRA. 2013.
- 13 *Plasty Mucell sníží hmotnost automobilů* [online]. 2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/plasty-mucell-snizi-hmotnost-automobilu>
- 14 AVERY, Jack. *Injection molding alternatives: a guide for designers and product engineers*. Cincinnati, Ohio: Hanser/Gardner, 1998. ISBN 1569902518.
- 15 *Vlastnosti polymerů – materiálový list, inspekční certifikát* [online]. 2008 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/08.html>
- 16 ŽÁK, Ladislav. Podklady do cvičení předmětu HTN: Vstřikovací formy. 2009, 39 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf

- 17 *Technické údaje strojů* [online]. Mülheim an der Ruhr, 2008 [cit. 2016-05-12].
Dostupné z:
http://www.formplastgmbh.de/cz/injection_moulding_machine.php?maschinen_id=3902
- 18 *Performance specification for automotive electrical connector systems*. Warrendale, PA: SAE International, 2013. ISBN 9780768079982.
- 19 Google Obrázky [online]. 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: [www.google.com /](http://www.google.com/)
- 20 *Materiál 21. století* [online]. 2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z:
[/www.epod.cz/material-21-stoleti/](http://www.epod.cz/material-21-stoleti/)

Seznam použitých symbolů a zkratek

DSC	Differentiation scanning calorimetry	
€	Euro, 1€ = 27.02 Kč	
F	Síla	[N]
G	Modul pružnosti ve smyku	[Nmm ⁻²]
ITT	Index toku taveniny	
L	Rozměr na tělese	[mm]
LDPE	Low density polyetylen, nízko hustotní polyetylen	
m	Hmotnost vylisku	[g]
N	Roční vyrobené množství	[ks]
N_{mat}	Roční spotřeba materiálu	[tuna]
P	Cena materiálu	[€/kg]
p_i	Tlak ve formě	[MPa]
P_{vyr}	Výrobní cena jednoho kusu	[Kč]
P_{vz}	Náklady na vzorování	[€]
P_{rok}	Roční náklady na originální materiál	[€]
PA	Polyamid	
PE	Polyetylen	
PMMA	Polymethylmethakrylát	
PP	Polypropylen	
PVC	Polyvinylchlorid	
t	Čas	[s]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
T_m	Teplota tání	[°C]
UV	Ultrafialové záření	
UL 94	Stupnice hořlavost	

Seznam příloh

Příloha 1 01-16 Výkres zkoumaného tělesa

Seznam obrázků

Obr. 0.1	Ukázka využití plastů	10
Obr. 1.1	Lineární uspořádání polymeru	11
Obr. 1.2	Rozvětvené uspořádání polymeru	12
Obr. 1.3	Typy morfologie	12
Obr. 1.4	Graf tepelné stability	13
Obr. 1.5	Vliv teploty na modul pružnosti ve smyku	15
Obr. 1.6	Chemický vzorec PA	16
Obr. 1.7	Chemická reakce vzniku polyamidu	16
Obr. 1.8	Zkoumaná součást	17
Obr. 2.1	Vstřikovací jednotka	20
Obr. 2.2	Schéma formy	22
Obr. 2.3	Jednotlivé fáze plnění formy	24
Obr. 2.4	Průběh tlaku ve formě	25
Obr. 3.1	Vstřikovací stroj Demag IntElect	27
Obr. 3.2	Uchopovač při vyjímání výlisku z formy	27
Obr. 3.3	Popis hodnot v grafech	29
Obr. 3.4	Metoda testování zásuvných sil E1	30
Obr. 3.5	Rozdělení a zobrazení hodnot, test E1	31
Obr. 3.6	Schéma metody, test E2	32
Obr. 3.7	Rozdělení a zobrazení hodnot, test E2	33
Obr. 3.8	Schéma metody, test E3	34
Obr. 3.9	Rozdělení a zobrazení hodnot, test E3	35
Obr. 3.10	Schéma metody, test F	35
Obr. 3.11	Graf hodnot hlasitosti cvaknutí	36
Obr. 3.12	Metoda smontování	37
Obr. 3.13	Závislost montážního momentu na délce zašroubování	38
Obr. 3.14	Prvky pro zajištění správného kódování	38
Obr. 3.15	Poškození po pádové zkoušce	39
Obr. 3.16	Metoda vytrhávání montážního prvku	40
Obr. 3.17	Průběh síly v závislosti na dráze	41
Obr. 3.18	Rozdělení a zobrazení hodnot, test L	41
Obr. 3.19	Průběh teploty a vlhkosti v čase během cyklování	42
Obr. 3.20	Rozdělení a zobrazení hodnot, test O	44
Obr. 3.21	Rozdělení a zobrazení hodnot, test O, porovnání před a po cyklování	44
Obr. 3.22	Skvrny na tělese po cyklování	45
Obr. 3.23	Rozdělení a zobrazení hodnot, test P	46
Obr. 3.24	Rozdělení a zobrazení hodnot, environmentální testy	47
Obr. 3.25	Testovací matice testu V	47
Obr. 3.26	Rozměry výlisku	48
Obr. 4.1	Velikost úspory v závislosti na obsahu recyklovaného materiálu	51
Obr. 4.2	Porovnání nákladů a úspor při použití regranulátu	52
Obr. 4.3	Vzdálenost zobáčku od stěny	53
Obr. 4.4	Délky skelných vláken v materiálu	54
Obr. 4.5	Studený spoj	55

Seznam tabulek

Tab. 1	Parametry výrobního stroje	26
Tab. 2	Technologické parametry vstřikování	28
Tab. 3	Testovací matice dle normy USCAR2	29
Tab. 4	Naměřené hodnoty zásuvných sil modulů	30
Tab. 5	Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů	32
Tab. 6	Naměřené hodnoty výtržných sil závitové vložky, test E3	34
Tab. 7	Naměřené hodnoty hlasitosti kliknutí, test F	36
Tab. 8	Výsledky vizuální kontroly po smontování konektoru	37
Tab. 9	Naměřené hodnoty vytrhnutí montážního prvku, test L	40
Tab. 10	Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů po cyklování, test O	43
Tab. 11	Naměřené hodnoty výsuvných sil modulů po cyklování	45
Tab. 12	Náměry těles	48
Tab. 13	Přehled výsledků testů	53
Tab. 14	Rozměr L	53
Tab. 15	Hmotnost součástí	54