



Stárnutí matracových polyuretanových pěn

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství

Autor práce: **Bc. Veronika Matochová**
Vedoucí práce: Ing. Hana Pařilová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Aging of mattress polyurethane foams

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Veronika Matochová**
Supervisor: Ing. Hana Pařilová, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika Matochová**

Osobní číslo: **T15000071**

Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**

Studijní obor: **Produktové inženýrství**

Název tématu: **Stárnutí matracových polyuretanových pěn**

Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši na téma stárnutí, výroba a použití polyuretanových pěn
2. Charakterizujte simulaci stárnutí u dostupných polyuretanových pěn
3. Proveďte sérii zkoušek na dostupných vzorcích matracových polyuretanových pěn před a po simulaci stárnutí
4. Diskutujte výsledky měřených vlastností ve vztahu ke stárnutí polyuretanových pěn



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

DUCHÁČEK, V. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0

SZYCHER, M. Szycher's Handbook of Polyurethanes, Second Edition. CRC Press, 2012, 1144 s. ISBN 1439839581.

JANČOVÁ, V. Polyuretanové pěny v konstrukci čalouněného nábytku. Brno, 2008. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta.

ČSN EN ISO 2440 Měkké lehčené materiály Zkouška urychlením stárnutím


ČSN EN ISO 2439 (64 5440) Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení tvrdosti vtlačováním.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Pařilová, Ph.D.**

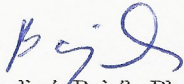
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: **29. března 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **4. května 2018**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2018

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala své vedoucí práce Ing. Haně Pařilové, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při vypracování diplomové práce. Dále děkuji Ing. Blance Tomkové, Ph.D. za zajištění laboratorních přístrojů a vytvoření skvělých podmínek pro měření.

Závěrem patří velké díky mé rodině a blízkým za jejich podporu a trpělivost po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se věnuje problematice stárnutí matrací z polyuretanových pěn. Konkrétněji jde o zjištění, jak se vybrané vlastnosti pěn chovají v průběhu simulovaného stárnutí za tepla. Proces stárnutí může způsobit selhání vlastností, které ovlivňují životnost matrace. V úvodní části práce je stručně popsáno vše o polyuretanových pěnách v souvislosti s matracemi. Nastiňují se zde také pojmy jako životnost a stárnutí. Rešeršní přehled o měkkých lehčených materiálech jejich vlastnostech, použití a výrobě čerpá z dostupných zahraničních i českých zdrojů. V experimentální části práce jsou provedeny zkoušky testující tři vybrané vlastnosti polyuretanových pěn a zkouška stárnutí pěnových materiálů, která uzavírá vždy jeden cyklus měření. Bylo provedeno celkem pět cyklů měření na základě, kterých jsou prezentovány výsledky práce. Veškeré provedené metody zkoušek jsou normativně podloženy.

Klíčová slova: polyuretan, urychlené stárnutí, životnost, SAG faktor, lehčené pěny

ANNOTATION

This diploma thesis deals with aging of mattresses made of polyurethane foams. More specifically, it is to determine how the selected properties of the foam behave during the simulated hot aging process. The aging process can cause the properties that affect the life of the mattress to fail. In the introductory part of the thesis is briefly described all about polyurethane foams in connection with mattresses. Concepts such as life and aging are also covered here. An overview of soft lightened materials, their properties, uses and production, draws on available foreign and Czech sources. In the experimental part of the lever, tests are carried out testing three selected properties of polyurethane foams and an aging test of foam materials, which concludes each one measurement cycle. A total of five measurement cycles were performed on the basis of which the results of the work are presented. All test methods performed are normative.

Key words: polyurethane, accelerated aging, durability, SAG factor, lighter foam

OBSAH

ÚVOD	10
1. PROBLEMATIKA MATRACÍ	12
1.1 Životnost	13
1.2 Stárnutí	14
2. SYNTETICKÉ PĚNY	16
2.1 Polyuretanové pěny	18
Složení a výroba PUR pěn	19
Struktura PUR pěn	23
Druhy PUR pěn	24
Značení PUR pěn	25
Speciální úpravy a pořezové technologie PUR pěn	26
Významní výrobci a zpracovatelé PUR pěn	28
Mechanicko-fyzikální vlastnosti PUR pěn	29
2.2 Výběr parametrů pro testování PUR pěn	30
Objemová hmotnost	31
Odpor proti stlačení	32
SAG faktor.....	32
Prodyšnost	33
3. NORMY	34
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	40
4.1 Použité pomůcky a měřící zařízení	41
4.2 Příprava zkušebních vzorků.....	43
5. METODY PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK	45
5.1 Stanovení objemové hmotnosti materiálu	46
Výsledky měření objemové hmotnosti vzorků PUR pěn.....	46
Závěr a diskuse výsledků	51
5.2 Stanovení odolnosti materiálu při stlačení	52
Výsledky měření odporu proti stlačení při 40 % na vzorcích PUR pěn.....	53

Závěr a diskuse výsledků	58
5.3 Stanovení SAG faktoru	59
Výsledky měření SAG faktoru na vzorcích PUR pěn	60
Závěr a diskuse výsledků	66
5.4 Metoda urychleného tepelného stárnutí	67
ZÁVĚR.....	68
Seznam citací	70
Seznam použitých norem	72
Seznam obrázků	74
Seznam tabulek	75
Seznam příloh.....	76

Seznam zkratk a symbolů

PUR polyuretan

SAG faktor faktor komfortu

CV₄₀ hodnota napětí v tlaku při stlačení o 40 %

OH objemová hmotnost (kg/m³)

ÚVOD

Využití měkkých lehčených pěn dnes zasahuje do velkého množství výrobků nábytkářského průmyslu. Díky široké škále mechanicko-fyzikálních vlastností a nízké finální ceně nahrazují polyuretanové pěny tradiční materiály. U výroby matrací tomu není jinak. Tento materiál přináší matraci nejen skvělé komfortní a užité vlastnosti, ale i příslib dlouhé životnosti a funkčnosti. Problémem se stává to, že výrobci a zpracovatelé matrací z PUR pěn nemají dostatečné množství informací o chování tohoto materiálu během procesu stárnutí.

Dosavadní provedené studie sledující vlastnosti nových polyuretanových pěn zatím podrobněji nepopisují chování a vlastnosti pěn zestárých. Zkoumaná problematika je také ztížena existencí velkého množství typů pěn, jelikož každý výrobce používá svou recepturu a směšovací poměry, které pěnám dodávají rozmanitost vlastností. Z tohoto důvodu nelze zjištěné poznatky aplikovat všeobecně na jakýkoli druh polyuretanové pěny.

Předmětem této diplomové práce je provést sérii zkoušek vybraných užitných vlastností matracových PUR pěn na vzorcích o různé tuhosti. Po provedených zkouškách proběhne imitace stárnutí dle příslušných norem a opětovné zkoušení a porovnání výsledků. Na základě provedeného testování bude možné vyhodnotit, do jaké míry ovlivňuje stárnutí vybrané vlastnosti polyuretanových pěn používaných pro matrace, čímž se naplní cíl práce.

Cílem je tedy zjistit účinky stárnutí na vybraných vlastnostech matracových PUR pěn. Snahou práce také může být potvrdit či vyvrátit tvrzení výrobce, že průměrná životnost matrací z PUR pěn je 5–10 let v závislosti na její tuhosti. Zjištění, jak se bude chovat faktor komfortu v procesu stárnutí, lze považovat za jednu z vedlejších ambicí práce.

Úvodní část práce je postavena na rešerši z dostupných zdrojů obsahující odbornou českou i zahraniční literaturu, webové stránky, katalogy výrobců, České technické normy příslušící k jednotlivým zkouškám a v poslední řadě i odborné kvalifikační práce. Z těchto načerpaných informací byly utvořeny jednotlivé kapitoly práce, které se věnují obecné problematice PUR pěn v souvislosti s životností a matracemi. Další informace o výrobě, uskladňování, řezání a prováděných zkouškách na PUR pěnách byly doplněny ve společnostech PURTEX s.r.o. závod Zdiby. Tato společnost ochotně poskytla vzorky matracových PUR pěn pro experimentální část, ve

které bude provedena série zkoušek ověřující vlastnosti a parametry dané výrobcem. Následně budou vzorky testovány metodou simulovaného stárnutí v laboratorních podmínkách.

Ve druhé části diplomové práce jsou provedeny zkoušky testující vybrané vlastnosti pěn a zkouška stárnutí pěnových materiálů dle normovaných metodik. Metody pro stanovení objemové hmotnosti ČSN EN ISO 845, stanovení odporu proti stlačení ČSN EN ISO 3386-1 a stanovení tvrdosti vlačováním ČSN EN ISO 2439 tvoří jednu sérii testovaných vlastností na zkušebních vzorcích PUR pěn. Zkouška urychleného tepelného stárnutí dle ČSN EN ISO 2440 vždy zakončuje každou sérii měření, čímž byl dokončen jeden cyklus stárnutí. Poté bude provedeno vyhodnocení naměřených dat a celý tento cyklus stárnutí se znovu opakuje. Závěrečné kapitoly dokumentují výsledky jednotlivého měření vybraných zkoušek včetně grafického znázornění. Shrnutí všech výsledků bude obsahem závěru, který umožňuje porovnat zkoušené vzorky.

1. PROBLEMATIKA MATRACÍ

Asi jednu třetinu svého života stráví každý jedinec spánkem na lůžku, kdy tělu dodává až devadesát procent duševních i fyzických sil. Proto je velice důležité věnovat pozornost výběru vhodných komponentů pro kvalitní spánek. Z velké části závisí na matraci, ovšem důležitá je i volba roštu a konstrukce lůžka. Na trhu je nepřeberné množství různých lůžkových komponentů tvořící ideální postel pro každého člověka, který vybírá dle svých individuálních potřeb pro komfortní spánek. Nejpodrobněji se problematice vztahu zad a lůžka zabývá Haex [1], který napsal celou knihu věnující se tomuto tématu. Dopodrobna popisuje např. různé materiály používající se k výrobě matrací a jejich vlastnosti, kulturní a historické aspekty spaní, evoluci ve spánku a rozdílnosti v polohách spánku

Účelem této práce není zabývat se rámem postele nebo druhem roštu, ale matrací, která dodává svému uživateli potřebný užitek. Doby, kdy lidé spali pouze na molitanových matracích, jsou pryč a dnes má každý možnost výběru z nabídky nejrůznějších speciálních matracových pěn, potahů i lůžkovin. Existuje několik druhů matrací, které vycházejí ze dvou základních typů, matrace s pružinovým jádrem a matrace z moderních pěn.

Tato práce se zaměřuje na polyuretanové pěny (dále PUR pěny), které řadíme mezi jedny z důležitých materiálů v čalounickém průmyslu. Velkou výhodou je příznivá cena za mnohostranně použitelné vlastnosti PUR pěn. PUR pěny mají spoustu výhodných vlastností, ale umí být náchylnější na okolní vlivy zejména při výrobě nebo krátkém čase po ní. Jednou z vlastností je prodyšnost, která by z matrace měla odvádět přebytečnou vlhkost uvolňující se z lidského těla během spánku – dýcháním a pocením, a také je nutné počítat s vlhkostí a teplem prostředí. Díky přebytečné vlhkosti může vzniknout prostředí vhodné pro mikroorganismy působící nepříznivě na lidský organismus a také se tak urychluje stárnutí pěnových materiálů, což přispívá k jejich degradaci. [2]

Z výzkumného hlediska není PUR pěnám věnována dostatečná pozornost, co se týče testování jejich vlastností a tím rozšíření možného okruhu použití. Na téma spánek a matrace je napsáno mnoho vědeckých studií zkoumajících například komfort spánku nebo pohodlí závislé na tvrdosti matrace. Jeden z mnoha výzkumů odhaluje, že v České republice třetina obyvatel ve střední až pozdní dospělosti (časná dospělost je charakterizována do 25 – 30 let, střední dospělost do 45 let a pozdní dospělost do 65 let) spí na stejné matraci, kterou si pořídili v časně dospělosti. Toto zjištění ukazuje

neznalost v oblasti výběru matrace či nezájem o tuto problematiku, jelikož matraci je zapotřebí měnit každých přibližně pět až deset let v závislosti na druhu a její životnosti uváděnou výrobcem. [3]

Životnost matrací lidé mnohdy nepovažují za stěžejní a často mají při její koupi pocit, že si výrobek kupují na celý život a přitom si neuvědomují kolik aspektů působících na životnost matrace z PUR pěny existuje. Nejen, že materiál ztrácí svou elasticitu a přestává se přizpůsobovat tvaru těla, ale i z hygienického hlediska není dobré ji užívat po uplynutí životnosti.

1.1 Životnost

Samotný pojem životnost nelze definovat jako obecný koncept, vždy je nutné ji definovat ke vztahu ke konkrétnímu výrobku nebo předmětu. Hovoříme-li o životnosti z pohledu textilních výrobků, můžeme říci, že dnes již zcela neodpovídá odborné definici. Hollá [4] životnost výrobku charakterizuje jako „*dobu, po kterou je předmět schopen zachovat si své vlastnosti v původní nebo téměř nezměněné podobě.*“ Kromě zachování funkčnosti (provozní schopnosti) musí výrobek také splňovat esteticko-vzhledové a hygienické vlastnosti, které se během jeho užívání nesmí změnit tak, aby bylo znemožněno jeho původní použití.

Životnost výrobku určuje, jak dlouho je možné výrobek používat, a kdy je vhodné ho vyměnit za nový. Také je ovlivňována a úzce spjata se stárnutím, čím rychleji předmět stárne, tím se jeho životnost zkracuje. Lze ji prodloužit správným zacházením a údržbou. Životnost můžeme jinými slovy popsat jako pomyslnou hranici maximálního opotřebení výrobku, jejíž dosažení brání uživateli plně využívat funkčnosti výrobku.

Délka životnost výrobku je ovlivněna mnoha aspekty, jako je například výběr materiálů, konstrukce a technologie výroby. Ovšem v dnešním „konzumním“ způsobu užívání výrobků, týká se to zejména elektroniky a oděvního průmyslu, má spotřebitel kupovat stále nové produkty, které jsou již záměrně vyráběny s kratší životností. U oblečení výrobek podléhá módnosti, tím pádem se zboží nestihne mnohdy ani opotřebovat. [4]

Životnost textilních výrobků je také možné vyjádřit řadou objektivně měřitelnými vlastnostmi jako je například pevnost, odolnost v oděru, posuvu nití ve švu, stálobarevnost na světle aj. Pro vzhled textilních výrobků je důležitá i frekvence jeho používání a snadnost údržby – praní nebo čištění. [5]

Životnost matrace závisí na použitém materiálu, na její tuhosti a rovněž na podkladu matrace. Průměrná životnost matrace, tj. doba, po kterou výrobce garantuje její ortopedické vlastnosti, se pohybuje v rozmezí přibližně 5 až 10 let. Po uplynutí doby životnosti ztrácí matrace elasticitu, mění se vlastnosti materiálu a při nesprávné údržbě se v matracích mohou hromadit nečistoty spolu s roztoči i plísněmi. Přestává se dokonale přizpůsobovat tvaru a hmotnosti těla. Materiál se však většinou neproleží. [6] Někteří výrobci uvádějí, že nejdelší životnost mají matrace z gelu, kde dokonce zaručují doživotní garanci oproti matracím z tzv. molitanu. Pro prodloužení životnosti těchto matrací se doporučuje jejich otáčení o 180°, pokud jim to konstrukce dovoluje.

Každodenní používání matrace způsobuje nejen opotřebení materiálu, ale vede i k jeho zanesení nečistotami, jako jsou například zbytky vlasů a kůže. Toto znečištění zkracuje hygienickou životnost, která je mnohem kratší než celková životnost výrobku. Především s ohledem na hygienické hledisko výrobci doporučují omezit dobu užívání matrace a po uplynutí její životnosti ji vyměnit za novou. [4] Tato práce se zaměřuje pouze na změnu vybraných objektivně měřitelných vlastností vlivem umělého stárnutí. Tedy na jeden z mnoha aspektů, které životnost matrací z polyuretanové pěny ovlivňují.

1.2 Stárnutí

Všeobecná literatura pohlíží na pojem stárnutí materiálu jako na dlouhodobý proces fyzické i chemické změny vlastností materiálu způsobené molekulární nestabilitou, který probíhá samovolně. [7] Technická norma [8] uvádí, že „*stárnutí se vztahuje na všechny „pomalé a nevratné“ změny vlastností materiálu vyplývající z jeho vlastní nestability nebo účinků okolního prostředí.*“ Všechny tyto změny mohou ovlivňovat jak chemickou strukturu polymerů či přísad, tak i složení materiálu a jeho fyzikální stav. Stárnutí je tedy spontánní proces určitých změn vlastností předmětu, který nelze zastavit, ale pouze zpomalit správným preventivním opatřením.

V průběhu stárnutí textilních materiálů lze zjistit zásadní změny z pohledu struktury vláken. Vlastnosti vláken se odvíjejí od vzniku různých kombinací makromolekul, které jsou tvořeny směsicí molekul. Pro kompaktní strukturu vlákna musí docházet k přiblížení makromolekul, které jsou spojeny sekundárními vazbami, tzv. meziřetězcovými vazbami a vytvářejí tak krystalické oblasti, označované jako krystality. Jejich orientace je důležitá zejména kvůli vlastnostem, jako jsou pevnost a odolnost. Ve vláknech vznikají také nekystalické oblasti, které jsou nositelem specifických vlastností materiálu, např. sorbce a tažnost. Tyto vazby jsou na

nepravidelných, náhodných pozicích, kde mohou být snáze vystavovány vnějším vlivům. Reakce stárnutí se mohou vyskytnout stejnorodě na celém vlákne nebo nerovnoměrně a to nejdříve na povrchu a po proniknutí i uvnitř. Mimo jiné se mohou vyskytnout pouze v nekystalických oblastech a mohou změnit molekulovou hmotnost, krystalitu či orientaci vláken. V průběhu stárnutí se také může změnit tvar a velikost vlákna. Celkové stárnutí textilního výrobku se odvíjí od stárnutí jednotlivých vláken. [9, 10]

Faktorů ovlivňující stárnutí je hned několik, na stárnutí má vliv především světlo, teplo, mechanické a atmosférické vlivy aj. Randall R. Bresse, americký vědec, napsal studii o Všeobecných účincích stárnutí na textil, kde uvádí klasifikaci pěti typů stárnutí v polymerních materiálech. Jedním z nich je fyzické stárnutí, u kterého v průběhu času dochází k fyzickým strukturálním změnám bez nutnosti dodávání dodatečné energie. Dalším z typů je fotochemická degradace, která je důsledkem mnoha chemických změn, při kterých je dodávána dodatečná energie prostřednictvím absorpce elektromagnetického záření – fotonů, jako například u viditelného nebo ultrafialového světla. Třetí kategorií je tepelná degradace, která nastává v případě strukturální změny vyplývající z absorpce tepelné energie, tzv. tepla. K chemickému stárnutí dochází, když je energie předávána za pomoci chemických látek, např. pokud dochází k oxidaci při odbarvování peroxidem. V poslední řadě může docházet ke stárnutí mechanickým namáháním, například když se tvar textilie změní důsledkem průhybu během skladování nebo vystavování. [11] Diplomová práce se zaměřuje na stárnutí PUR pěn v důsledku mechanického namáhání při běžném užívání, což ovšem neznamená, že by tento materiál nepodléhal dalším výše uvedeným typům a projevům stárnutí. Tomuto typu stárnutí jsou matrace vystaveny z podstaty svého účelu a užívání. Bezpochyby polyuretanové pěny podléhají chemickému stárnutí, které by bylo vhodným tématem k další výzkumné práci.

2. SYNTETICKÉ PĚNY

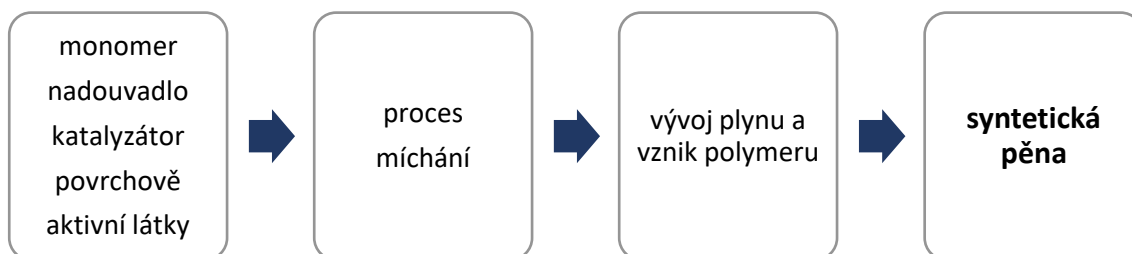
V této kapitole jsou veškeré informace čerpány z publikace Handbook of plastics foam, kolektiv autorů. [12] Polymerní pěny jsou širokou skupinou syntetických porézních materiálů. K nejznámějším a hojně využívaným zástupcům této skupiny řadíme pěnový polyester (EPS) a pěnový polyuretan (PUR), které využíváme téměř denně ve formě různých obalů, izolací nebo čalounických výrobků a matrací.

Skladba lehčených plastů je obecně dána z fáze tuhé (pevného polymeru) a fáze plynné. Například plynná fáze vzniká tepelným rozkladem chemického nadouvadla, což se děje za pomoci cesty chemické nebo fyzikální. Tu je možno utvořit mechanickým šleháním plynu do polymeru či vypařováním kapaliny s nízkým bodem varu.

Na teplotě skelného přechodu závisí, zda pěna bude pružná nebo tuhá. Polymerové pěny mohou být vyráběny s různou hustotou a to od $1,6 \text{ kg/m}^3$ až do 960 kg/m^3 , kdy pěny o vysoké hustotě vyžadují použití nosné aplikace. Naopak pěny s nízkou hustotou se používají na tepelné izolace, kdy mechanické vlastnosti jsou přímo úměrné hustotě. Syntetické pěny lze dělit podle tepelné vratnosti, druhu výroby nebo buněčné struktury, což je podrobněji rozvedeno níže.

Obecně pěny dělíme podle tepelné vratnosti:

- Pěny na bázi **reaktoplastů** (termosetů) – při zvyšování teploty se nestávají tvárnými a viskoelastickými, tvoří se vlivem tepla a tlaku, pro výrobu pěny se používají polyisokyanuráty a polyuretany. Tento princip je vyobrazen pomocí schématu na obr. 1.
- Pěny na bázi **termoplastů** – po zahřátí na vyšší teploty jsou viskoelastické a tvarovatelné, např. polyethylen, polyester a polystyren. Díky nižší hmotnosti se využívají zejména v automobilovém průmyslu.



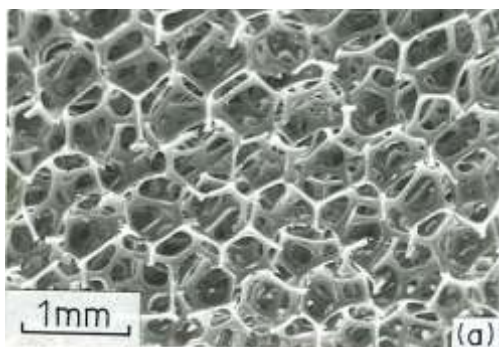
Obr. 1: Schéma výroby pěn na bázi reaktoplastů

Podle druhu výroby:

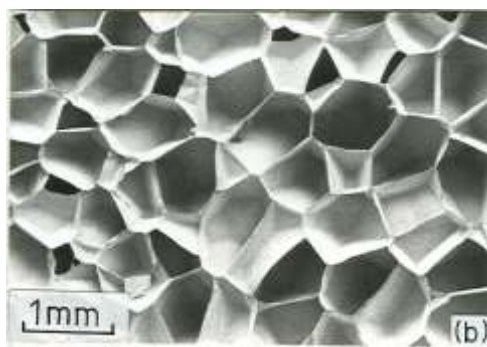
- **Extrudací taveniny s přidáním zpěňovadel** – rozmícháním látky podporující vznik plynu (nadouvadla) v polymeru, kdy snížením tlaku nebo zvýšením teploty je regulováno uvolnění plynu. Touto výrobou vznikají pěny z polyetylenu (PE), polyvinylchloridu (PVC), extrudovaného polystyrenu (XPS) aj.
- **Běžný polystyren** – z malých kuliček zvětšujících svůj objem v důsledku přidání nadouvadla se současným foukáním teplého vzduchu a díky dalším stabilizačním krokům vznikne polystyren.
- **Vzájemnou reakcí chemických látek** – porézní strukturu vytváří plyn, který vzniká vzájemnou chemickou reakcí. Vzájemnou reakcí vznikají například polyisokyanurátové pěny (PIR) nebo polyuretanové pěny (PUR).

Podle buněčné struktury dělíme pěny:

- **s otevřenou strukturou** (open-cell) – neúplné buněčné stěny, kterými vzduch proudí skrz materiál. Lépe pohlcuje vibrace a má dobrou propustnost vody. Díky malému množství buněčných spojení se vyznačují malou pevností v tahu. Využití těchto pěn bývá převážné pro pohlcení vibrací, nárazů nebo pro propustnost vody, par a vzduchu. Tato pěna je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2: Otevřená struktura pěny [13]



Obr. 3: Uzavřená struktura pěny [13]

- **s uzavřenou strukturou** (closed-cell) – nenarušené buněčné stěny zaplněné vzduchem, který vznikl při použití nadouvadla (látky podporující vytváření plynu). Větší propojenost buněk dodává pění vyšší pevnost a nižší tepelnou vodivost. Na obrázku č. 3 je viditelné rozložení uzavřené struktury. [13]

2.1 Polyuretanové pěny

U polyuretanu lze v dnešní době nalézt nepřeberné množství využití. Používá se v širokém spektru výrobků. Nalezneme ho v automobilech v podobě sedaček a dalších interiérových komponentů, oděvech, obuvi, spotřebičích, nábytku včetně postelových matrací, izolacích i ve výrobcích pro domácnosti. Největší osobnost spjatá s polyuretanem je jistě Dr. Otto Bayer (1902–1982), uznávaný profesor v německém Leverkusenu. Ten spolu se svými kolegy prováděl základní vědecké práce v průběhu 30. let minulého století, až v roce 1937 vyvinul první syntetickou pěnu, a o několik let později odstartoval rozvoj polyuretanu. Ve válečném období našly syntetické pěny hojného využití a nahrazují tradiční materiály s vyšší hmotností, proto se začínají vyrábět i další varianty a nacházejí se nové možnosti využití. [12,14]

První použití PUR pěn v čalounictví se datuje na rok 1957 a postupně vytěsňuje do této doby používanou pěnovou pryž při výrobě matrací. Hlavními přednostmi byly nízká cena, jednoduchá a rychlá zpracovatelnost i lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti. Významným průlomem byl vývoj druhé generace polyuretanových pěn – éterové pěny s otevřenou buněčnou strukturou, a objevení tzv. „jednorázového“ technologického postupu výroby, který spočívá v reakci dvou chemikálií s činidlem a s dalšími přísadami, díky čemuž je možno směs nanášet na pohyblivý pás, na kterém probíhá reakce a vzniká nekonečně dlouhá pěna. Další možností je vložení směsi do formy požadovaného tvaru. [12]

Třetí generace PUR pěn v podobě vysoce elastických pěn, tzv. studených pěn se začala rozvíjet v 80. letech 20. století. Pěny typu HR (studené pěny) mají oproti do té doby používaným pěnám vysokou pružnost, vyšší hustotu a unikátní buněčnou strukturu. [12] Mají měkký povrch a poskytují větší podporu při zatížení. S vývojem nových řad tvrdosti pěn se současně rozvíjí i technologie zpracování a nalézají se nové možnosti mikroporézních PUR pěn s viskoelastickými schopnostmi, jako má například pěna DUREN. Tyto pěny se využívají zejména na nemocniční lůžka pro pacienty s dekubity, protože dokáží zachovat dočasnou tvarovou paměť. [14]

Polyuretanové pěny si do dnešní doby prošly postupným vývojem a zdokonalováním nejen technologie výroby, ale i různou modifikací svých charakteristických vlastností pro účely dalšího využití. V dnešní době se PUR pěny dominantně prosadily nejen v automobilovém průmyslu, ale i při výrobě matrací, kde svou cenou i užitkem převažují nad konkurenty. Co do objemu výroby matrací patří právě PUR pěny vyrábějící se v širokém sortimentu objemových hmotností a tvrdostí do první

desítky používaných materiálů. Výrobci na trhu s pěnovými matracemi nabízejí velké množství nejrůznějších variací pěn skládaných ve vrstvách, které mají docílit dokonalejších mechanických vlastností. Vrstvením pěn je možné získávat další komfortní vlastnosti pěnové matrace. Než matrace získaly svou dnešní podobu, prodělaly velmi zajímavý vývoj, takže se diametrálně se liší od svých dávných předchůdců. Říká se, že mnohé moderní vymoženosti vznikly díky lidské pohodlnosti, což u matraci platí dvojnásob.

Složení a výroba PUR pěn

Polyuretany lze využívat v tekutém i tuhém stavu, avšak veřejnosti neznámější způsob použití je při výrobě pěnových materiálů (lehčených hmot). Polyuretanová pěna je polymerní izotropní materiál organického původu, který vzniká polyadiční reakcí dvou složek.

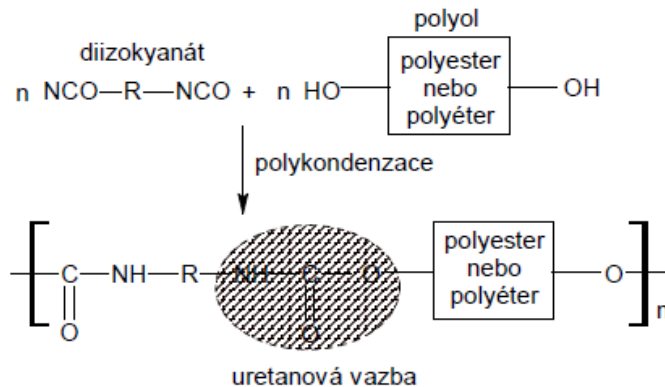
- a) První složkou je **homogenizovaná směs** obsahující:
 - **polyoly** (polyalkoholy) obsahující polyether nebo polyester
 - **nadouvadla** nebo jejich směs
 - **stabilizátory pěnění**
 - **aktivátory** (katalyzátory) pěnění a síťování
 - **aditiva** jako jsou retardéry hoření, pigmenty aj.

- b) Druhou složkou je tmavě hnědě zbarvený **izokyanát** obsahující alespoň jednu izokyanátovou funkční skupinu $R-N=C=O$. Nejvíce používanými jsou toluendiizokyanát a difenilmethandiizokyanát. [15, 16]

Během výrobního procesu PUR pěn se přidává do směsi malé množství vody, která reaguje s izokyanátem za vzniku oxidu uhličitého, který působí jako nadouvadlo. Katalyzátory, další ze složek směsi, ovlivňují nejen celkovou rychlost reakce, ale i rychlost uvolňování CO_2 zajišťující tvorbu pěny. Reaktivita isokyanátu, u kterého může dojít ke spojení s alkoholy a tím vzniku pěny o různé tvrdosti (super měkké, tuhé, částečně tuhé), je hlavním rysem chemických vlastností PUR pěn. [16] Retardéry hoření, jako jedny z možných aditiv směsi zvyšující požární odolnost materiálu, se využívají pro pěny do stavebnictví, do automobilů, ale i v čalounictví a nábytkářství.

Na základě polyolu vstupujícího do reakce se polyuretanové pěny rozlišují na dva typy. PUR pěna na bázi **polyesteru** se vyznačuje vysokou životností a odolností proti UV záření, proto se hojně využívá především v automobilovém průmyslu, dále také pro

výrobu koberců, obuvi a v dalších průmyslových oblastech. PUR pěna na bázi **polyeteru** má velké využití pro čalounictví a domácnost. [15]

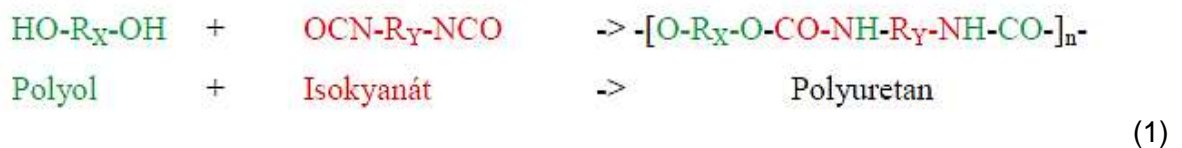


Obr. 4: Chemická struktura *polyuretanu* [15]

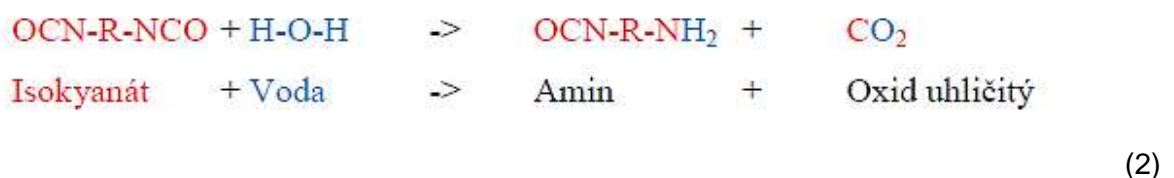
Polyuretan, na obrázku 4, obsahuje uretanovou skupinu $R-NH-(C=O)-O-R'$, která vzniká reakcí dvou hlavních složek. První složka – polyol, kde je důležitý počet poskytnutých hydroxylových skupin (OH), a druhá složka – isokyanát, kde je důležitá reaktivita s iniciátorem. [18]

Celkem tři základní reakce proběhnou při tvorbě polyuretanové pěny.

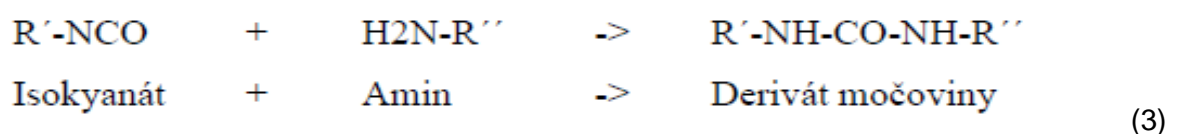
- tvoření hmoty



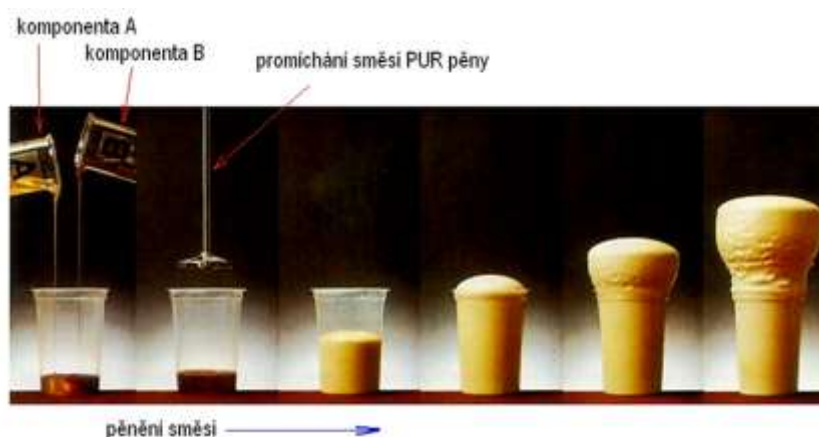
- tvoření plynu



- vznik vedlejšího produktu



Luh [18] ve své práci výstižně popisuje výše uvedené chemické reakce takto: „Polyol reaguje s izokyanátem za vzniku polyuretanového polymeru (1). Reakcí isokyanátu s vodou vzniká amin a oxid uhličitý, který působí jako nadouvadlo a zapříčiní vznik vzduchových bublin uvnitř materiálu, formování buněčné struktury a růst pěny (2). Mezi vedlejšími produkty vzniku polyuretanové pěny je derivát močoviny (3).“ Molekulová hmotnost polyolu ovlivňuje tvrdost finální pěny. Kratší řetězec, tj. nižší molekulová hmotnost způsobí, že pěna bude mít užší síť, a bude tudíž tvrdší. Při delším řetězci, tedy větší molekulové hmotnosti bude mít pěna širší síť a bude pružnější. Finální pevnosti dosáhne PUR pěna až po 24 hodinách po výrobě, proto se musí nechat minimálně den (výrobci nechávají 3 dny) tzv. uzrát, než proběhne další zpracování. Avšak částečná pevnost, zesítnění i plynná reakce je zpravidla dokončena do 2 minut. Obrázek 5 jednoduše znázorňuje popisovanou reakci směsi polyolu a izokyanátu, při které vzniká polyuretanová pěna.



Obr. 5: Laboratorní znázornění výroby PUR pěny - pění směsi polyolu a izokyanátu dle [16]

Rozlišujeme dva základní technologické postupy výroby lehčených polyuretanových pěn. Vypěňováním na kontinuálních linkách vzniknou nekonečné pásy, a v diskontinuálních strojích se vyrábí pěny ve formě bloků, tvarovacích dílců atd. Ovšem pro výrobu PUR pěn esterových a éterových se realizují dva výrobní postupy, při kterých vznikají tzv. horké a studené pěny. [16] Moderní kontinuální vypěňovací linky využívá většina firem vyrábějící lehčené pěny určené pro matrace, převážně pro ty sendvičové (různé druhy pěn lepené do vrstev). Pro výrobu matrací z monobloku mohou firmy využít diskontinuální zařízení pro výrobu bloků, kde vznikají jakostní pěnové hmoty. Dále se nabízí technologie zpěňování do forem, která je kvůli na míru vyrobeným formám příliš drahá. Častěji než matrace se touto technologií vyrábějí zdravotní, anatomicky tvarované pěnové polštáře. Tato technologie má ovšem větší zastoupení v sériové

výrobě v automobilovém průmyslu pro výrobu přesných dílců, jako jsou například sedáky.

Výroba lehčených polyuretanových pěn nejčastěji probíhá na kontinuálně pracujících zpěňovacích strojích s míchací hlavou. Obě základní složky se společně s vodou a dalšími pomocnými látkami přivádějí do míchací hlavy, kde se z nich utvoří viskózní kapalina, která za běžných podmínek téměř ihned po nalití do formy vypění tak rychle, že za pár desítek minut může být pěna vyndána z formy. [17] To je dáno především plynným oxidem uhličitým, který vzniká reakcí isokyanátu s vodou a účinkuje jako nadouvadlo. Touto technologií jsou vyráběny tzv. „nekonečné bloky“ PUR pěny, které jsou následně nařezány do bloků s požadovanými rozměry. Poté jsou přemístěny k dozrávání do prostor s dostatečným odvětráváním. Technologie kontinuálním pěněním je stále jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií, co do objemu výroby. Ukázka kontinuálního zařízení pro výrobu PUR pěny je na obr. 6.



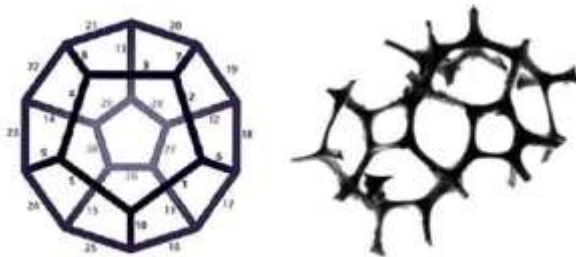
Obr. 6: Zařízení na vypěňování PUR pěny kontinuální technologií dle [16]

Například společnost PURTEX zpracovává jednotlivé komponenty matracového jádra z různých materiálů na vertikálních či horizontálních pilách ve formě rovných nebo tvarovaných desek řezaných na speciálních přístrojích řízených počítačem. K výrobě polyuretanových pěn využívají moderní stroje na podobných principech uvedených

v předchozím odstavci. Pro výrobu sendvičových matrací se používají zdravotně nezávadná lepidla, která zaručují velmi elastický a pevný spoj. Veškeré odřezky a zbytky firma dále zpracovává na recyklační lince do tuhé odolné hmoty, kterou lze opět využít.

Struktura PUR pěn

Polyuretanová pěna se skládá ze vzájemně propojených buněk, které mají tvar dvanáctibokého pětihranu znázorněného na obrázku 7 a jsou základní stavební jednotkou pěny. Jde o trojrozměrnou strukturu navzájem se spojujících buněk. Tento tvar buňky vzniká při vypěnění jako důsledek chemické reakce, v závislosti na poměru vstupních surovin určuje fyzikální a mechanické vlastnosti konkrétní pěny. [15] V jednom metru krychlovém pěny je něco mezi 20 miliony až 20 miliardami buněk, které se skládají z podpěr a hranolů tvořících okna. Zbývající část pěny je tvořena vzduchem, který u běžných pěn tvoří přibližně 95 – 98 % objemu. [16]



Obr. 7: Tvar jedné buňky ve struktuře PUR pěny [16]

Podle Jančové [16] jsou vlastnosti pěny závislé na jednotlivých rysech buněk. Významné z nich jsou:

- tloušťka podpěr
- objem buňky
- anizotropie buňky
- přítomnost reziduálních membrán z okna

Jančová [16] ve své práci uvádí, že na mechanicko-fyzikální vlastnosti pěny mají vliv odlišné atributy buňky:

- průměr buňky
- tloušťka stěny buňky
- velikost tzv. okna

PUR pěny s většími buňkami mají silnější vlákna, a tím se zvyšuje odolnost proti únavě a poškození. Pokud jsou například dvě pěny o stejné struktuře a rozdílném objemu, předpokládáme, že více odolná proti únavě nebo poškození bude pěna s vyšší objemovou hmotností. To platí i v jiné situaci, kdy máme dvě pěny s rozdílnou strukturou, protože ta s většími buňkami má silnější stěny, a proto bude odolnější. [15]

Pro docílení vlastností splňujících požadavky konečného produktu se některé pěny upravují modifikací buněk:

- **Sítování** – probíhá termickým procesem roztavení všech zbytkových oken. Dochází k zesílení podpěr, zvýšení vzdušné propustnosti a otevření buněčné struktury.
- **Impregnace** – celkový rozměr buňky zůstává stejný, zmenšuje se pouze okénko a stěny. Ty se stávají širšími a zvyšuje se i celková hustota pěny.
- **Tepelnou kompresí** – modifikace teplem zvyšují hustotu hmoty, přičemž se výsledný rozměr buňky se zmenší, což způsobí vyšší vztlínavost pěny a sníženou propustnost pro vzduch. [16]

Druhy PUR pěn

Jedním z důležitých aspektů u PUR pěn je jejich tuhost, proto se dělí do tří základních stupňů tuhosti.

Měkké pěny jsou častokrát nazývány molitany. Za svou nízkou tuhost a vysokou elasticitu vděčí výslednému polymeru, který má dlouhé a elastické řetězce. Mezi měkké pěny řadíme například tzv. studenou pěnu neboli vysoko-elastickou pěnu, která má více porézní strukturu, a tím větší prodyšnost. Její tvarová stálost a elastické vlastnosti jsou dobré, a proto se hojně využívá na výrobu matrací. Dále jako měkké pěny označujeme tzv. normální pěny s výbornými tepelně-izolačními vlastnostmi, prodyšností, pevností a trvanlivostí. Využívají se na matrace, pro čalounictví i pro sportovní vybavení. Viskoelastické jsou pěny dalším druhem těchto pěn, které mají specifické vlastnosti při zvýšení teploty a tlaku. Pokud je žádoucí u této pěny snížit odpor proti stlačení, stačí zvýšit teplotu a tlak, a tím začne pěna měknout. Díky této vlastnosti se viskoelastické pěny používají pro nadstandardní matrace s vysokým komfortem zejména pro pacienty upoutané na lůžko, jelikož umí rozložit hmotnost pacienta, a tak zmírňovat vznik proleženin. [18]

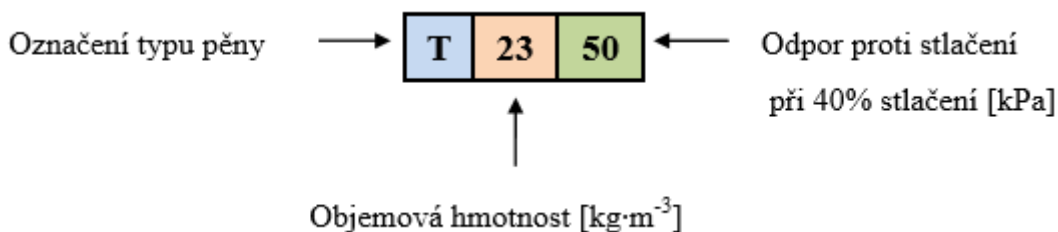
Většina měkkých pěn se připravuje v blocích. Pro matrace a polštáře se používají více polyethery. V nábytkářství a v automobilovém průmyslu se měkké pěny vyrábějí především ve formách. Tento způsob se používá v případě, kdy tvary produktu nelze získat přirezáváním. [17] Z celkového objemu výroby tvoří přibližně 50 % produkce.

Polotvrdé pěny nemají konkrétně specifikovanou tvrdost, která by je přesně zařazovala do této skupiny. Nejvíce se z těchto pěn připravují výrobky pro automobilový průmysl, jako jsou sedačky, volanty, čalounění interiéru, hlukové izolace atd. Také oblast obuvnictví využívá polotvrdých pěn pro podrážky. [18] Tyto pěny se připravují jedině v blocích na bázi polyesteru a používají se převážně jako isolační desky.

Tvrdé pěny mají svou typickou hustotu cca 30 kg/m^3 a nízkou tepelnou vodivost (po vakuu je to druhý nejlepší izolant), dobře odolávají okolním vlivům, mají vysokou pevnost v tlaku a nízkou objemovou hmotnost. Využívají se především ve stavebnictví jako izolační materiál. [18] Tyto pěny se většinou připravují v uzavřených či otevřených formách. [17] Z celkového objemu výroby tvoří přibližně 30 % produkce.

Značení PUR pěn

Polyuretanové pěny se označují velkým tiskacím písmenem, které uvádí klasifikaci pěny, a čtyřciferným číslem, které udává objemovou hmotnost a tuhost. Příklad značení je uveden na obrázku 8.



Obr. 8: Schéma značení PUR pěny [15]

První písmeno značí klasifikaci použité pěny a níže jsou uvedeny příklady označení:

- N – standardní (normální) pěny
- H – tvrdé pěny
- W – měkké pěny
- HR, K – studené pěny
- RE – spojené pěny
- např. speciální pěny se sníženou hořlavostí jsou značeny S nebo CME [15]

Následuje číselné označení, kde první dvojčíslí udává objemovou hmotnost, která podává informaci o hmotnosti na 1 m³ daného typu pěny, což stanovuje ČSN EN ISO 845. Poslední dvě číslice uvádí dle normy ČSN EN ISO 3386-1 odpor proti stlačení při 40 % poměrného stlačení materiálu. Tento údaj vypovídá o tuhosti dané pěny. [15]

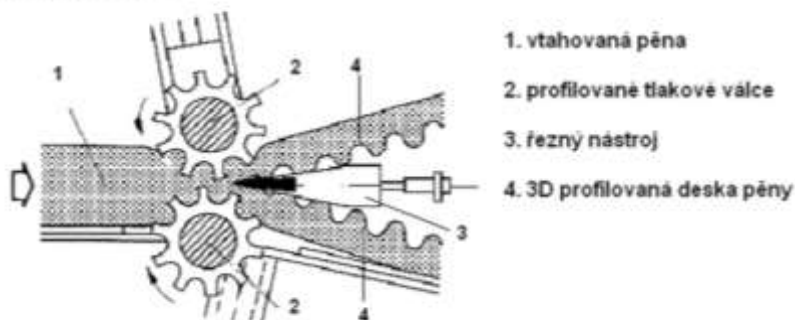
Speciální úpravy a pořezové technologie PUR pěn

Vývoj pěnových materiálů a nové oblasti využití pěn vyžadují přizpůsobení jejich vlastností pro konečné účely výrobku, proto je nutné nalézat nové technologické postupy i konstruování nových strojně-technologických zařízení. Úpravy pěn mohou probíhat již před výrobou samotné pěny nebo až na hotovém výrobku.

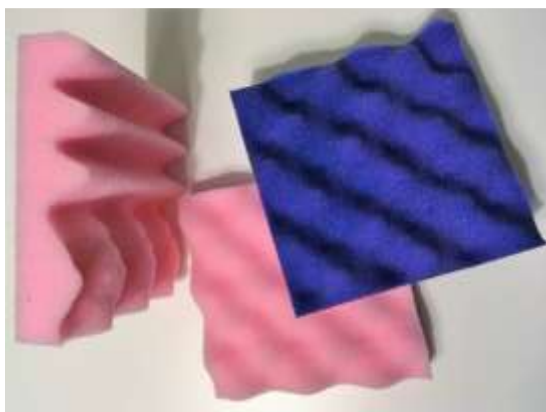
Novější metodou pro zušlechťování PUR pěn je technologie „CRUCH“, která zdokonaluje mechanicko-fyzikální vlastnosti pomocí stlačování bloku pěny. Při stlačování dochází k prasknutí buněčných stěn, což způsobí rozsáhlé otevření buněk. Tím se pěnový materiál stává komfortnější zejména v prodyšnosti a elasticitě. Technologie zhušťování pěn spočívá v lisování materiálu za tepla do stavu stálé deformace. Vzniká nová lehčená pěnová hmota s větší hustotou, jinými mechanickými vlastnostmi a vysokou pružností. Další zajímavou technologií je povrchová úprava PUR pěn, která umožňuje používat dílce pěny bez potřeby potažení textilií. Principem je aplikování barevného nástřiku přímo na PUR výrobek. Na povrchu se vytvoří tzv. umělá kůže, která dokáže zachovat pružnost, prodyšnost a zároveň je povrch omyvatelný, vodoodpudivý, čímž splňuje hygienické podmínky. Nespornou nevýhodou je kratší životnost oproti klasickým potahům, zejména díky světelné degradaci. [16] Jde tedy o nástřikem vytvořený potah dokonale kopírující tvar výrobku za minimální náklady.

V současnosti se využívá mnoho automatizovaných strojů pro nepřeborné množství nejrůznějších prořezů i výřezů. Pro dělení bloků PUR pěny na jednotlivé desky jsou nejběžněji využívány horizontální nebo vertikální pily. Nařezání desek je pak většinou přípravná operace k dalšímu zpracování. Dalšími již méně využívanými postupy, jsou technologie tvarového dělení z bloků, zaoblování dílců, vysekávání raznicemi nebo opracování dílců pěny frézováním. Pro matrace je dále používána spíše doplňková technologie vrtání otvorů, které mají zlepšovat celkovou prodyšnost výrobku. Jinou zajímavou technologií je 3D tlakové tvarování, kde za pomoci tlaku na materiál přes tvarovací šablonu vnikají požadované prolisy. Tento postup úpravy se využívá spíše v čalounictví pro výrobu křesel a pracovních židlí. Naopak pro pěny určené k ležení se v poslední době hojně používá technologie 3D profilování. Princip této technologie, jak je vidět na obr. 9, spočívá ve vtažení rovné desky pěny mezi dva profilované nesymetrické válce. Tlakem válců vnikají dvě téměř totožné tvarované desky se vzorem o jednu řadu posunutým. [16] Současným trendem u pěnových matrací je jejich provzdušňování za pomoci tzv. perforace všemožných tvarů a kombinací. Moderní řešení úpravy povrchů matrace představuje tvarování PUR pěny do tzv. chnopů. Díky tomuto profilovanému povrchu dochází k masáži těla a prokrvení vrchních částí pokožky. 3D profilování je především využíváno pro zónové matrace, které mají v různých částech jinou strukturu určenou pro každou část těla (jinou pod rameny, boky nebo hlavou).

tlakové kontinuální profilování
pěnových materiálů



Obr. 9: Princip 3D profilovací technologie PUR pěn [16]



Obr. 10: Ukázka vzorků pěn upravovaných profilovací technologií

Významní výrobci a zpracovatelé PUR pěn

Jedním z největších evropských producentů pěn je společnost EUROFOAM TP. Spojením stávající rakouské a belgické společnosti vznikla roku 1992 a dnes působí ve více než 20 zemích. Firma na trhu působí jako výrobce i prodejce lehčených pěn určených pro čalounictví, matrace, zdravotnictví, sport i pro technické účely. Eurofoam realizuje v rámci evropské spolupráce výzkum a vývoj v této oblasti. Významnou českou společností vyrábějící a zpracovávající polyuretanové pěny je Molitan a.s. Společnost se zaměřuje na pěny pro stavebnictví, automobily a nábytek v široké paletě sortimentu. [15]

Další společností na českém území vyrábějící a zpracovávající PUR pěny je PURTEX s.r.o., který je předním výrobcem pojeného lehčeného polyurethanu, viskoelastických výrobků, klinicky hodnocených matrací i výrobcem postelí. Součástí sortimentu je hned několik druhů pěn určených pro matrace. Hlavním z nich jsou PUR pěny vyráběné v jedné vrstvě převážně pro dětské matrace nebo z více vrstev s dalšími druhy pěn jako sendvičové matrace, kde PUR pěna většinou hraje roli tvrdého nosného materiálu. Zpracováním zbytků a odpadů firma získává pěnu označovanou RE PUR neboli recyklovanou polyuretanovou pěnu, která se vyznačuje zvýšenou tuhostí. Z bio pěn vyráběné z přírodních materiálů nebo jejich složek vznikají matrace vhodné pro alergiky. Studenou neboli HR pěnu firma prodává pod názvem CoolFlex®, která se používá pro klinicky hodnocené matrace s optimální podporou těla. Mezi další druhy patří pěna paměťová, také známá jako líná pěna nabízená pod obchodním názvem ViscoFoam®. Tento materiál mění svou tvrdost v souvislosti s teplotou lidského těla, a tím se mu dokáže přizpůsobit. Proto je vhodný pro matrace určené pro spánek na boku nebo po úrazech. Pro zkvalitňování výrobků využívá společnost PURTEX technologii

perforace matrací. Díky perforaci mají matrace lepší odvod vlhkosti a jsou vzdušnější. Jinou úpravou je tzv. Sanitized, díky které dochází k trvalé ochraně proti bakteriím, roztočům i plísním, což výrazně prodlužuje životnost. [19]

Malou, ovšem tradiční firmou v Libereckém kraji je Moliten s.r.o., která se zabývá výrobou a prodejem matrací a dalších doplňků pro spánek. Věnuje se také již několik let čalounickým službám a prodeji kompletního sortimentu pro čalouníky. Firma disponuje rozsáhlým výrobním portfoliem pěnového materiálu pro různé použití. [20]

Vyjma firem, které již byly jmenovány, se na českém trhu pohybují další významné společnosti, jako je například Molitan a.s., český výrobce matrací Grossmann spol. s.r.o., dále pak zahraniční společnosti se zastoupením v ČR je RECTICEL Interiors CZ s.r.o. a Covestro – Bayer CZ.

Mechanicko-fyzikální vlastnosti PUR pěn

Mechanicko-fyzikální vlastnosti polyuretanových pěn rozlišujeme buď na pro výrobce povinně měřitelné nebo na parametry, které se určují na základě norem či vnitřních firemních předpisů a jsou převážně na vyžádání zpracovatele. Výrobci pěn se snaží poskytovat velké množství údajů svým zákazníkům a dalším zpracovatelům. Při používání níže uvedených parametrů je důležité počítat s tím, že pěnové materiály jsou vyráběné v určité povolené toleranci, proto při jejich přeměrování je nutné počítat s určitou výchytkou. [16]

Mezi **měřitelné parametry** dle Jančové [16] patří:

- objemová hmotnost [kg/m³]
- odpor proti stlačení [kPa] při 40 % poměrném stlačení
- odpor proti vtlačení [N]
- pevnost v tahu [kPa]
- tažnost [%]
- pevnost roztržení [N/cm]
- trvalá deformace [%]
- poróznost PPI [-]
- prodyšnost [1/min]
- vodoodpudivost [%]
- povrchový odpor
- SAG faktor [-]

- elasticita [%]
- odrazová pružnost [-]

Výše uvedené měřitelné vlastnosti jsou pouhým výčtem z těch nejzákladnějších. Není záměrem diplomové práce všechny parametry analyzovat a rozepisovat. Ovšem pro snadnější výběr vhodných druhů lehčených pěn pro konkrétní využití je dobré se alespoň orientovat v jednotlivých parametrech. Konstruktor výrobků se prvotně orientuje na údaje v typovém označení pěn, tj. klasifikace pěny, objemová hmotnost a odpor proti stlačení.

Mezi **zpracovatelské a užité parametry** patří:

- různorodost použití
- rozmanitost výroby a zpracování
- vysoká pružnost
- nosnost a elasticita
- tvárnost a plasticita
- snadná čistitelnost
- netoxicita
- schopnost tlumit hluk
- cenová dostupnost aj. [16]

U zpracovatelských vlastností PUR pěn převládají pozitiva z pohledu funkčnosti, trvanlivosti i v jednoduchosti opracovávání pěn.

2.2 Výběr parametrů pro testování PUR pěn

Jedná se o parametry, které byly vybrány jako vhodné pro testování na daných vzorcích a zároveň jsou nejvíce blízké zkoumané problematice. Z mechanicko-fyzikálních vlastností ovlivňují životnost PUR pěn vlastnosti deformační, díky kterým dochází ke ztrátě optimální opory těla, pružnosti a tím i snížení uživatelského komfortu. Také prodyšnost, další z měřitelných parametrů, úzce souvisí s tzv. hygienickou životností matrace, která se uvádí 5 let.

Kvalita výrobků je většinou hodnocena skupinou vlastností nazývaných komfort. Komfort PUR pěn tvoří objektivní (měřitelné) a subjektivní (pocitové) parametry, které jsou charakterizovány tzv. komfortními vlastnostmi. Pro **objektivní komfort** je to objemová hmotnost, tvrdost, elasticita, SAG faktor a prodyšnost. Tyto parametry se

dají zjistit, změřit podle náležitých metodik. Do **subjektivního komfortu** jsou zařazeny vlastnosti jako měkkost, příjemný omak, pružnost, rovnoměrnost stlačení a vláčnost. [16] Převážná většina komfortních objektivních vlastností je zahrnuta ve výběru pro výzkumnou část, protože stárnutím materiálu by se měly tyto parametry zhoršovat.

Následující výběr měřitelných vlastností je zvolen ke zkoumání:

Objemová hmotnost

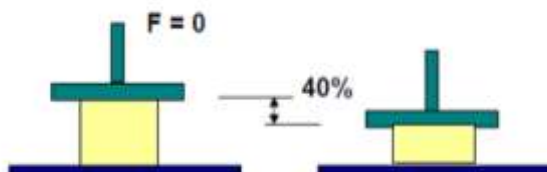
Je charakterizována jako poměr hmotnosti tělesa v kilogramech na jednotku objemu v metrech krychlových, což uvádí norma ISO 845, která je níže podrobněji vysvětlena. Objemová hmotnost známá také jako hustota je jednou z nejdůležitějších vlastností PUR pěn, protože ovlivňuje mnoho faktorů, např. komfort, životnost, nosnost i cenu za materiál. Ovlivňují ji látky (polyol, směs izokyanátu a aditiva) vstupující do výrobního procesu, kdy jejich množství, poměr a chemická povaha mají za následek zvětšení objemové hmotnosti. [2, 15] Na více namáhané části matrací se doporučuje používat spíše pěny o vyšší objemové hmotnosti. Velkou část celého objemu pěny tvoří vzduch, obvykle okolo 96 %.

Fyzikálně-mechanické vlastnosti se odvíjejí od velikosti objemové hmotnosti, proto platí následující tvrzení:

- Trvanlivost pěny - čím větší bude hustota, tím déle budou zachovány původní vlastnosti.
- Deformace v tlaku – s vyšší objemovou hmotností se projevuje tendence snížení výšky při dlouhodobé zátěži.
- Tuhost pěny - se zvyšováním hustoty nemusí růst i tuhost pěny, protože tyto dva parametry nejsou v přímé úměře. [15]

Odpor proti stlačení

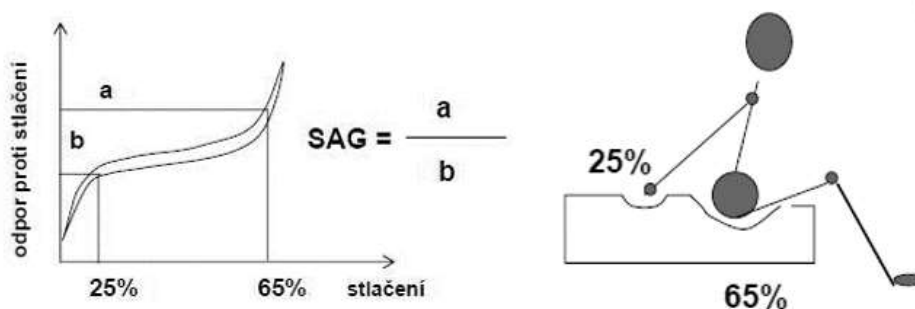
Tuto vlastnost lze vnímat již při prvotním kontaktu s pěnovým materiálem. Je možné ji vyjádřit jako sílu potřebnou ke stlačení tělesa dané plochy o 40 %. Pěny o stejné hustotě, ale různé tuhosti mohou mít odlišný odpor proti stlačení. [2] Obrázek č. 11 jednoduše poukazuje na princip odporu proti stlačení, který je důležitým parametrem uvádějící se při označování pěn výrobcem.



Obr. 11: Vizualizace odporu proti stlačení [2]

SAG faktor

Jedná se o poměr mezi tlakem při stlačení na 65 % a tlakem při stlačení na 25 %. Čím je tento poměr vyšší, tím je pěnový materiál vláčnější a dokáže být dobrou oporou pro lidské tělo (lépe roznese vyvinutý tlak). Větší hodnotu SAG faktoru mají pěny o vyšší hustotě a tvrdosti. Tyto pěny dovedou přenést větší zatížení. [16] SAG faktor je tzv. parametr kvality nebo také faktor komfortu.



Obr. 12: Vizualizace SAG faktoru [2]

Na obr. 12 vpravo je znázornění podpory těla materiálem. Při stlačení na 65 % lze hovořit o tzv. podpurném faktoru. To znamená, že posazení se na takovou pěnu bude zprvu měkké, ale po plném zatížení nedojde k proboření se na podklad, nýbrž postava zůstane v poloze, jak je znázorněno na obrázku. Tento děj lze vyjádřit pomocí vzorce následovně:

$$SAG = \frac{F_{65}}{F_{25}} \quad [-]$$

F_{25} ... stlačení při 25 % (N) (4)

F_{65} ... stlačení při 65 % (N)

SAG faktor neboli komfort je měřitelná hodnota, která je předvídatelná a popisuje individuální pocit pohodlí při ležení na standardizované matraci. Tento faktor přibližuje vztah mezi pevností povrchu matrace a vnitřním odporem vůči tlaku, který lze považovat za nosnou strukturu síly. Výsledná vyšší hodnota SAG faktoru poskytuje lepší oporu těla na matraci a zároveň je vnímána jako měkká a plyšová na povrchu. [14]

Prodyšnost

Tato mechanická vlastnost je důležitá zejména tím, že umožňuje cirkulaci vzduchu uvnitř materiálu, a tím dokáže vyrovnávat teplotní rozdíly spolu s odvodem tělesné vlhkosti. Hygienická životnost matrace je závislá právě na dostatečné prodyšnosti materiálu. Pokud by tento děj neprobíhal, může dojít ke vzniku vhodného prostředí pro plísně a bakterie, čímž se zkracuje hygienická životnost výrobku. Prodyšnost působí také na elasticitu pěny – vytlačování a nasávání vzduchu v pění při stlačování a vracení se do původního stavu. [2] Pro tuto zkoumanou problematiku by bylo jistě účelné zabývat se tímto klíčovým parametrem zejména v jeho souvislosti s hygienickou životností, ovšem kvůli omezeným možnostem není k dispozici vhodný přístroj k měření prodyšnosti pěnových materiálů.

3. NORMY

Jedním z důležitých zdrojů diplomové práce jsou české technické normy, které se týkají řešené problematiky, jíž je stárnutí měkkých polyuretanových pěn používaných pro lehací plochy. Podstatou je správné provedení jednotlivých zkoušek vybraných měřitelných vlastností lehčených pěn, které se opírají o konkrétní normy vhodné pro daný materiál, jež jsou ve stručnosti přiblíženy v této kapitole.

Pro zkoušení v laboratorních podmínkách je důležité vytvořit tzv. standardní prostředí, které specifikuje mezinárodní norma ČSN EN ISO 291. [20] Toto prostředí by mělo být konstantní se specifikovanými hodnotami vzduchu, vlhkosti a atmosférického tlaku. Norma za „zkušební prostředí“ pokládá takové, kterému je vzorek konstantně vystaven v průběhu zkoušky.

Standardní prostředí podle normy ČSN EN ISO 291 [20]:

- 1) **(23 ± 2) °C, relativní vlhkost (50 ± 10) %** (pro země mimo tropické pásmo)
- 2) (23 ± 5) °C, relativní vlhkost (50 ± ²⁰₁₀) %
- 3) (23 ± 5) °C, relativní vlhkost (65 ± ²⁰₁₀) %

Stanovování všeobecných zkušebních podmínek pro přípravu testovaných vzorků pro samotné zkoušení i pro vyhodnocení výsledků je náplní normy ČSN 64 5401 pro testování lehčených hmot. Pro stanovení lineárních rozměrů zkoumaného vzorku se používá norma ČSN EN ISO 1923, která charakterizuje vhodná měřidla pro lehčené plasty a pryže. Vzorky o rozměrech 10 až 100 mm se mají měřit posuvným měřidlem, které umožňuje odečítat hodnoty s minimální přesností 0,1 mm. S tímto druhem měřidla by se mělo postupovat tak, že jeho ramena se svírají do okamžiku dotknutí s povrchem vzorku, aniž by došlo k jeho stlačení. Zkušební těleso by se mělo změřit v min. pěti dostatečně vzdálených bodech v závislosti na jeho tvaru a velikosti. Aritmetický průměr se následně vypočítá z minimálně 5 hodnot vycházejících ze střední hodnoty třech naměřených dat v každém bodě. [21]

ČSN EN ISO 845 (64 5411) Lehčené plasty a pryže – Stanovení objemové hmotnosti

Náplní normy je specifikovat stanovení objemové hmotnosti pro lehčený materiál a pryže, které je dáno změřením rozměrů a vypočtením objemu a následným zvážením testovaného tělesa. Z těchto hodnot je možné vypočítat objemovou hmotnost (ρ) dle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V} * 10^6 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

m ... hmotnost testovaného tělesa [g] (5)

V ... objem testovaného tělesa [mm³] [22]

Přičemž norma definuje výpočty pro tři odlišné objemové hmotnosti:

- celková objemová hmotnost (včetně kůry vzniklé při tváření)
- objemová hmotnost bez kůry (po odstranění veškeré kůry)
- objemová hmotnost (obsahující propustné i nepropustné póry, které se vyskytují v testovaném tělese) [22]

Zkoušené vzorky by se před samotným měřením měly kondicionovat po dobu 16 hod. ve standardní atmosféře. Principem zkoušky je změření testovaného tělesa v milimetrech a to minimálně každý rozměr třikrát. Následně se u všech rozměrů vypočítají střední hodnoty, na základě kterých se vypočítá objem zkušební vzorku. Poté se každý vzorek s přesností 0,5 % zváží a zaznamená v gramech. Po výpočtu objemové hmotnosti ρ dle vzorce (5) pro každý vzorek se vypočte průměr těchto hodnot se zaokrouhlením na 0,1 kg*m⁻³. Na základě postupu by se měla zjistit i směrodatná odchylka s dle vzorce (6). [22]

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad [-]$$

x ... hodnota měření (6)

\bar{x} ... aritmetický průměr série měření

n ... počet provedených měření [22]

ČSN EN ISO 3386-1 (64 5441) Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odporu proti stlačení – Část 1: Nízkohustotní materiály

Tato norma se zabývá metodou stanovení odporu proti stlačení a to ve dvou částech rozdělených podle hustoty lehčených materiálů. Navazující normou je ČSN EN ISO 3386-2. Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odporu proti stlačení – část 2. Vysokohustotní materiály. Jako nízkohustotní označujeme materiály s hustotou do $250 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, zatímco vysokohustotní materiály překračují uvedenou hodnotu. [23]

Odpor proti stlačení poukazuje na nosné vlastnosti materiálu, přestože materiál nemusí mít schopnost nosnosti dlouhotrvajícího zatížení. Zkoušku lze provést na zkušebním stroji, který se skládá z podložky, stlačovací desky a ze zkušebního tělesa. [23]

Stroj zkoušející odpor proti stlačení musí dokázat stlačit testovací vzorek mezi dva povrchy – podložku a stlačovací desku. Desky se musí pohybovat konstantní rychlostí $(100 \pm 20) \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Dále musí přístroj umožnit měření síly potřebné k požadovanému stlačení s přesností $\pm 2 \%$ i měření tloušťky vzorku se zatížením s přesností $\pm 0,2 \text{ mm}$. Podložka, na kterou se ukládá zkoušený materiál, musí být hladká, vodorovná, pevná a musí být větší než zkušební vzorek. Podobnými vlastnostmi by měla disponovat i stlačovací deska. Pro tuto metodu se zkoušejí tři testovací vzorky. V případě opakování zkoušky stejných vzorků je zapotřebí dodržet minimální dobu zotavení 16 hodin. [23]

Hodnota napětí v tlaku CV při stlačení o 40 % se vypočte dle vzorce:

$$CV_{40} = 1000 \frac{F_{40}}{A} [kPa]$$

F_{40} ... síla zaznamenaná při 4. zatěžovacím cyklu při stlačení o 40 % [N] (7)

A ... plocha povrchu testovaného tělesa [mm^2] [23]

ČSN EN ISO 2439. (64 5440) Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení tvrdosti vtláčováním.

Cílem této normy je zjistit sílu potřebnou k dosažení jistého vtlačení při daných podmínkách. Mezinárodní norma specifikuje celkem čtyři metody pro stanovování tvrdosti vtláčováním a jednu metodu pro určení koeficientu deformace v tlaku a je určena kromě PUR pěn také pro latexové, uretanové a PVC pěny s otevřenými buňkami. [24]

Před samotným testováním každé zvolené metody je nutné provést prvotní tzv. úvodní vtláčování. Toto vtláčení je provedeno rychlostí 100 ± 20 mm/min, při stlačení o 70 % původní tloušťky s opakováním celkem 2krát po sobě. Dále je potřeba znát tloušťku zkušebního vzorku a nastavit působící sílu 5 N, která je tzv. nulovým bodem. Poté je možné začít se zkoušením podle jednotlivých metod měření uvedených níže.

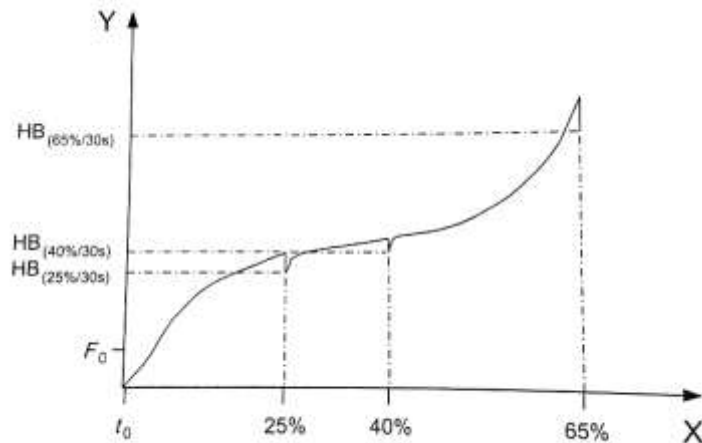
- **Metoda A - index tvrdosti 40 %** – vtláčovací čelist klesne o 40 %, kde počká 30 s a poté se změří síla v newtonech. Získá se síla při určitém stlačení.
- **Metoda B - charakteristika tvrdosti v bodě 25 %, 40 % a 65 %** - vtláčovací čelist klesne o 25 %, 40 % a 65 %, přičemž v každém bodě počká 30 s a poté se změří síla. Ze získaných sil lze vypočítat tzv. kompresní deformační koeficient S_f , který je v normě vyjádřen vzorcem:

$$S_f = \frac{F_{65}}{F_{25}} \quad [-]$$

F_{25} ... síla při vtlačení o 25 % (N)

(8)

F_{65} ... síla při vtlačení o 65 % (N)



Obr. 13: Vzorové grafické vyjádření naměřených hodnot podle metody B [24]

X ... stlačení vzorku v %

Y ... síla měřená v newtonech

F_0 ... předpětí 5 N (nulový bod)

- **Metoda C – stanovení tvrdosti 40 %** - čelist klesne o 40 % a zaznamenaná síla v newtonech. Tato metoda se používá pro rychlou kontrolu kvality tvrdosti.
- **Metoda D – index tvrdosti 25 %** – čelist klesne o 25 %, kde v tomto bodě počká 20 s a poté se zaznamenaná síla. Používá se jako rychlý inspekční test.
- **Metoda E – koeficient deformace tlaku** – vtlačovací čelist klesne o 75 % tloušťky vzorku a současně se zaznamenává křivka síly. Ihned po dosažení 75 % nastává uvolňování tlaku. [24]

Faktor SAG popisuje jednotnou sílu potřebnou ke stlačování (vytlačování) pěnového bloku standardizovaného rozměru na 25 %, 40 % a 65 % původní výšky. Proto byla pro tuto práci zvolena metoda B této normy.

ČSN EN ISO 2440 Měkké lehčené materiály – Zkouška urychleným stárnutím

Mezinárodní norma popisuje postup laboratorních zkoušek, které mají napodobit účinky přirozeně se vyskytujících jevů zapříčiňujících stárnutí, jako jsou například vlhkost a teplo. Metody pro urychlení stárnutí se aplikují, neboť získání experimentálních výsledků za normálních podmínek používání je téměř nemožné. Tyto metody tedy slouží pro napodobení podmínek při běžném používání výrobku s nastavenými parametry, které zapříčiňují rychlejší stárnutí. [25]

Norma stanovuje dvě metody pro posuzování účinků stárnutí umožňující zkrácení doby degradace materiálu.

- **Metoda A - stárnutí za tepla** – působení po určitou dobu konkrétní teplotou pro daný materiál za dané relativní vlhkosti. (polyuretan 80 °C, 50 ± 5 %)
- **Metoda B - stárnutí za vlhka** – při 100 % relativní vlhkosti se na zkušební vzorky působí po danou dobu určitou teplotou. (polyuretan 120 °C na 5 h) [25]

Princip zkoušky podle metody A spočívá v umístění zkušebních těles do klimatické komory, kde se vystaví působení horkého vzduchu o teplotě příslušné danému materiálu po určitou dobu. Vzorky se nechají temperovat po 24, 48, 72 a dalších násobcích 24 hod. Po uplynutí této doby jsou zkušební vzorky vyjmuty z komory a po odležení min. 6 h se provedou stejné testovací zkoušky, které se provedly před zkouškou stárnutím. Změnu fyzikálních vlastností naměřených před a po aplikaci zkoušky stárnutím norma stanovuje tzv. součinitel stárnutí S, který je vyjádřen následujícím vztahem. [25]

$$S = \frac{\bar{X}_a - \bar{X}_0}{\bar{X}_0} * 100$$

\bar{X}_a ... průměrná hodnota měřených veličin před stárnutím (9)

\bar{X}_0 ... průměrná hodnota měřených veličin po stárnutí [25]

Další významné normy:

ČSN EN 12280-3. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Urychlení zkoušek stárnutí - Část 1: Stárnutí za tepla.*

ČSN EN 12280-3 *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Urychlení zkoušek stárnutí - Část 3: Přirozené stárnutí*

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části diplomové práce je zjistit účinky stárnutí na vybrané vlastnosti PUR pěn používaných na matrace.

Postup testování vzorků PUR pěn je rozdělen do několika částí:

- otestovat vybrané mechanicko-fyzikální vlastnosti na vzorcích PUR pěn
- provést simulaci urychleného stárnutí na naměřených vzorcích PUR pěn
- otestovat zestárlé vzorky PUR pěn na vybrané mechanicko-fyzikální vlastnosti
- zhodnotit vliv umělého stárnutí na vybrané mechanicko-fyzikální vlastnosti

Po každém provedení prvních dvou bodů u jednotlivých vzorků budou vyhodnoceny výsledky měření a vzájemně porovnány v závislosti na provedené zkoušce stárnutí. Pro naplnění cíle bude provedena série zkoušek vybraných vlastností měkkých lehčených pěn, které se budou vždy opakovat po provedení simulace stárnutí. Po provedené sérii zkoušek vybraných vlastností na zestárlých vzorcích pěn budou vyhodnoceny rozdíly mezi prvotními naměřenými hodnotami před a po zkoušce stárnutí.

Výzkum je zaměřený na uživatelské vlastnosti pěnových matrací, proto byly k testování zvoleny tyto mechanicko-fyzikální vlastnosti:

- objemová hmotnost [kg/m^3] za pomoci laboratorní váhy a posuvného měřítka
- odpor proti stlačení [kPa] na trhacím přístroji s plochou hlavicí
- SAG faktor [-] na trhacím přístroji s kruhovou hlavicí

Každá z uvedených zkoušek podává různé informace o chování testovaného materiálu. První z testovaných vlastností je objemová hmotnost, která může odhalit pokles nebo naopak nárůst hmotnosti a rozměrů vlivem procesu stárnutí. Odpor proti stlačení vypovídá o tuhosti lehčené pěny, což je jeden z rozhodujících parametrů při výběru matrace. Tuhost se během namáhání pěny zhoršuje. SAG faktor vypočítaný poměrem hodnot ze zkoušky vtlačováním může napovědět něco o komfortu pěny. Literatura uvádí, že čím vyšší je tento poměr, tím dává pěna tělu lepší oporu. Otázkou zůstává, jakým směrem se tento poměr bude vyvíjet vlivem stárnutí.

Před samotným provedením celé série zkoušek byl proveden průzkum platných normativních předpisů, které jsou popsány ve 3. kapitole. Veškeré postupy testovacích metod probíhají v souladu s platnými normami, což ovšem neznamená jejich striktní dodržování. Vlastní měření uvedených vlastností obnášelo výběr metody zkoušky,

definování vstupních a výstupních parametrů, vlastní průběh testování spolu s ukládáním naměřených dat a jejich zpracování a vyhodnocení.

4.1 Použité pomůcky a měřící zařízení

Pro zkoušení tří zvolených parametrů je nutné využít hned několik pomůcek používaných v laboratorním prostředí TU v Liberci. V laboratořích Katedry materiálového inženýrství a Katedry hodnocení jakosti byly využity následující přístroje.

Digitální posuvné měřítko a tloušťkoměr

Posuvné měřítko, známé také jako šuplera, umožňuje měření vzdáleností s přesností $\pm 0,02$ mm. Díky elektromagnetickému snímači absolutní hodnoty není potřeba po zapnutí přístroje navracení do původní pozice a nelze v důsledku velké rychlosti snímání přeskočit snímač, a tím narušit přesnost měření. [18]



Obr. 14: Digitální posuvné měřítko

Digitální tloušťkoměr na obrázku 15 je vhodný pro měření lehčených pěn a fólií, protože má velké rozpětí čelistí, které umožní měření těles v rozmezí 0 – 50 mm. Na konci čelistí je opatřen dvěma kruhovými plochami (průměr 50 mm), které proti sobě působí silou 0,8 – 1,7 N. Měření je velice snadné, mezi čelisti je vložen vzorek, který je mírně stlačen, než se na displeji ukáže naměřená vzdálenost dvou ploch, tedy tloušťka. [18]



Obr. 15: Digitální tloušťkoměr [18]

Laboratorní váha

Digitální laboratorní váha zajišťuje rychlé a přesné vážení s vysokou přesností na 0,001 g. Přehledný displej, velká vážící plocha a kryt proti okolnímu průvanu jsou velkými přednostmi. Tento přístroj umožňuje stabilní rychlé a hlavně přesné vážení do 3 sekund.

Trhací stroj – TIRA test 2300

Zkušební zařízení TIRA test 2300 je univerzální trhací stroj řízený počítačem. TIRA test, zobrazen na obr. 16, umožňuje provést statické zkoušky jednoosého namáhání tahem i tlakem a zároveň cyklické zatěžování při zvolené rychlosti. Rozsah přístroje je závislý na vyměnitelných čelistech – měřících hlavách většinou do 100kN. [18] Stroj je dvouprostorově uspořádán – horní část umožňuje zkoušky tahem, zatímco v dolní části lze provést zkoušky tahem a v ohybu. Pohyby příčnicku jsou detekovány senzory s vysokou přesností, které dokáží zachytit veškeré drobné výkyvy. Příčník se pohybuje rychlostí 0,0025 – 500 mm/min. Přesnost pro měření síly je 0,08 N a pro měření tloušťky 0,001 mm. Pro jednotlivé druhy zkoušek lze na tomto přístroji provést výměnu upínacích hlav a to od zkušebních tyčí přes válcové, ploché a hladké hlavy.



Obr. 16: TIRA test 2300

Klimatická komora

Klimatická skříň značky Vötsch typu VC³ se využívá pro provádění teplotních a teplotně-vlhkostních zkoušek. Velikost zkušebního prostoru je až 190 litrů a pro uživatelsky příjemné ovládání je vyrobena s barevným dotykovým displejem. Teplotní rozsah se pohybuje od -10 °C do 90 °C. Disponuje také vlhkostním rozsahem pohybující se od

10 % až do 98 %. Tento typ klimatické komory je vhodný pro zkoušky bez rychlých teplotních změn, jako je například zkouška stárnutím.



Obr. 17: Klimatická komora Vötsch VC 0018

4.2 Příprava zkušebních vzorků

Zkušební vzorky polyuretanových pěn byly poskytnuty společností PURTEX s.r.o., která je výrobcem a zároveň zpracovatelem PUR pěn zejména pro výrobu matrací a dalších postelových doplňků. Také společnost Moliten s.r.o. poskytla několik vzorků matracových PUR pěn, které bohužel nebyly použitelné pro zvolené testování.

Konkrétní druhy a označení pěn, se kterými se pracovalo ve výzkumné části, jsou uvedeny v přehledné tabulce č. 1. Pro diplomovou práci byly použity čtyři vzorky pěn typu N neboli standardní středně tvrdé pěny a jeden vzorek pěny typu HR známé jako studená pěna. Všechny zkušební vzorky jsou získány ze zbylých odřezků pěnových desek používaných pro matrace. Díky vlastnostem a omezeným možnostem strojního zpracování PUR pěn nelze připravit rozměrově identická zkušební tělesa. Taktéž i v praxi při zpracování PUR pěn dochází k milimetrovým odchýlkám. Z tohoto důvodu nemohly být dodrženy některé normované rozměry pro realizaci zkoušek. Rozměry jsou limitovány možnostmi poskytnutých vzorků pěn, které mají tvar hranolu o přibližně stejných délkách. Po nařezání vzorků na vertikální pile bylo dále nutné odřezání krajové kůry, která vzniká během tvárnění. Z každého druhu pěny byly zhotoveny 3 kusy zkušebních vzorků. Pro snadnou identifikaci byly před samotným testováním zkušební tělesa očíslována tak, jak je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Typy pěn a jejich označení pro testaci

OZNAČENÍ VZORKU	TYP PUR PĚNY
PUR 1 - A	N 3050
PUR 1 - B	
PUR 1 - C	
PUR 2 - A	N 2530
PUR 2 - B	
PUR 2 - C	
PUR 3 - A	N 2516
PUR 3 - B	
PUR 3 - C	
PUR 4 - A	N 2545
PUR 4 - B	
PUR 4 - C	
PUR 5 - A	HR 4037
PUR 5 - B	
PUR 5 - C	

Některé ze zkoušených typů pěn se používají nejen na výrobu matrací, ale i v čalounictví na vrchní vrstvy sedacích ploch u sedaček, křesel i židlí. Složení přísad použitých k výrobě zkušebních pěn nebylo výrobcem dovoleno publikovat, jelikož se jedná o firemní know-how. Každý výrobce má svou tzv. recepturu pro výrobu pěn, díky níž má každý produkt odlišné procentuální zastoupení různých plniv a dalších látek.

5. METODY PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK

Vzhledem k vlastnostem materiálu a zpracovatelským možnostem PUR pěn byly pro účely diplomové práce navrženy tři níže uvedené varianty zkoušek. Uvedené metodiky zjišťování vybraných vlastností pěn se řídí konkrétními normativními předpisy. U zkoušky pro stanovení tvrdosti vtlačováním však nemohly být přesně dodrženy rozměrové tolerance testovaného vzorku. Důvodem je omezený počet vzorků, které byly k dispozici pro všechny testace a jsou rozměrově stejné, přičemž každá zkouška definuje jiné rozměrové tolerance zkušební vzorku. Kvůli tomu se ekvivalentně modifikovaly rozměry vtlačovací hlavy na rozměry zkušební tělesa.

Bližší představení jednotlivých zkoušek lze nalézt v úvodní kapitole 2.2 Výběr parametrů pro testování PUR pěn, která vysvětluje jednotlivé zkoušky, a v kapitole 3. Normy, kde jsou zkoušky představeny v souladu s příslušnými českými technickými normami.

Od každého z pěti druhů pěn byly vyrobeny tři kusy zkušebních těles určené k testování vybranými zkouškami. Před prvním vložením všech vzorků do klimatické komory, která zajišťuje zkoušku urychleným stárnutím, byla provedena série měření obsahující tři testace na vybrané vlastnosti PUR pěn. Poté jsou vzorky vystaveny konstantní teplotě 80 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 % po dobu 72 hodin. Po každém cyklu stárnutí, který vždy zakončuje sérii měření, proběhlo vyhodnocení naměřených dat a, celý tento cyklus stárnutí je možné opakovat. Měření všech vybraných vlastností probíhalo s normovanými pauzami pro zotavení materiálu.

Veškeré zkoušky byly provedeny v laboratořích, kde se teplota pohybovala od 21 do 23,5 °C a vlhkost vzduchu mezi 30 – 45 %. Měření probíhalo na přelomu února a března 2018. Po celou dobu testování byly vzorky chráněny proti přímému slunečnímu záření i proti zdroji sálajícího tepla.

Shrnutí včetně grafického znázornění jednotlivých výsledků zkoušek je uvedeno v podkapitolách níže. Z veškerých naměřených hodnot jsou vypočteny statistické údaje, jako je aritmetický průměr (střední hodnota), rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient a interval spolehlivosti.

5.1 Stanovení objemové hmotnosti materiálu

Objemová hmotnost je jeden z parametrů uváděných v označení pěny výrobcem, jde o první dvoučíslí hned za písmenem označujícím typ pěny. Pro jeho určení je možné se držet postupu měření daného normou ČSN EN ISO 845.

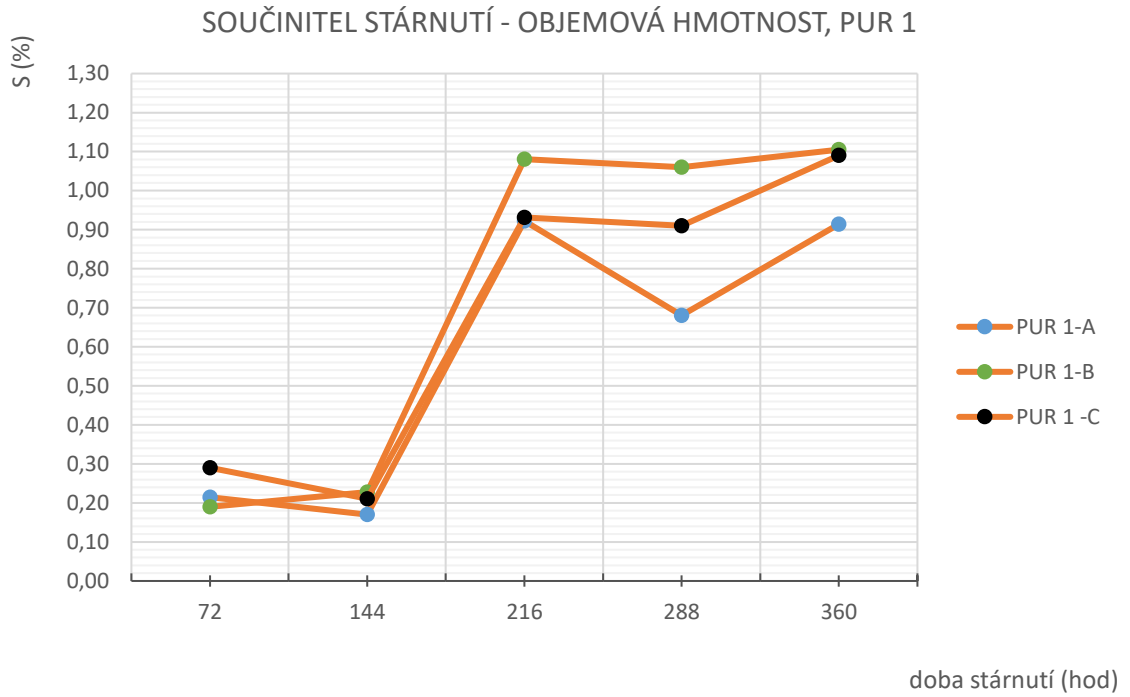
Připravené vzorky PUR pěn byly za laboratorních podmínek ze všech stran potřebných pro vypočtení objemu tělesa změřeny pomocí digitálního posuvného měřítka a tloušťkoměru určeného pro měření pěnových materiálů. Každý ze třech rozměrů (délka, šířka, tloušťka) byl přeměřen v pěti předem vyznačených bodech A - E, které při opakování zkoušky zabezpečí přesné měření vždy na stejném místě. Následně se jednotlivé vzorky pětikrát převáží na laboratorních vahách. Z naměřených hodnot je potřeba vypočítat objem testovaného tělesa. Veškeré zaznamenané údaje se dosadí do vzorce pro výpočet objemové hmotnosti OH (5). Každý vzorek má pět vypočítaných hodnot OH. Z těchto hodnot je počítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka (6). Tento postup byl opakován po každé provedené zkoušce stárnutí.

Mírná odchylka v rozměrech vzorků neměla vliv na zkoumanou objemovou hmotnost testovaných těles, jelikož se vždy vycházelo z naměřených rozměrů daného vzorku. Před samotným zkoušením byla zkušební tělesa přibližně 16 hodin ve standardní atmosféře.

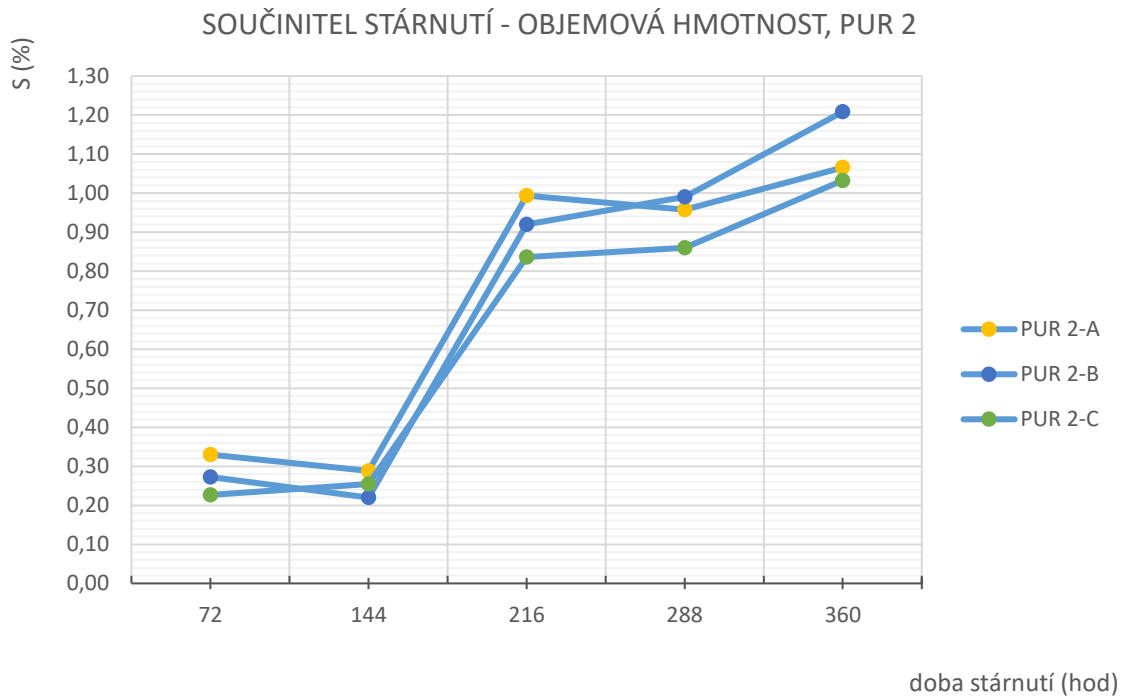
Výsledky měření objemové hmotnosti vzorků PUR pěn

V každé sérii měření OH (po každém cyklu stárnutí) bylo vyhodnoceno 75 hodnot pro všech pět druhů pěn. Změřené hodnoty byly zaznamenávány a pomocí programu zpracovány do přehledných tabulek, které jsou rozděleny na hodnoty získané před a po zkoušce stárnutí. Zaznamenané hodnoty, jejich výpočty a výsledky jsou obsahem přílohy č. 1 této diplomové práce.

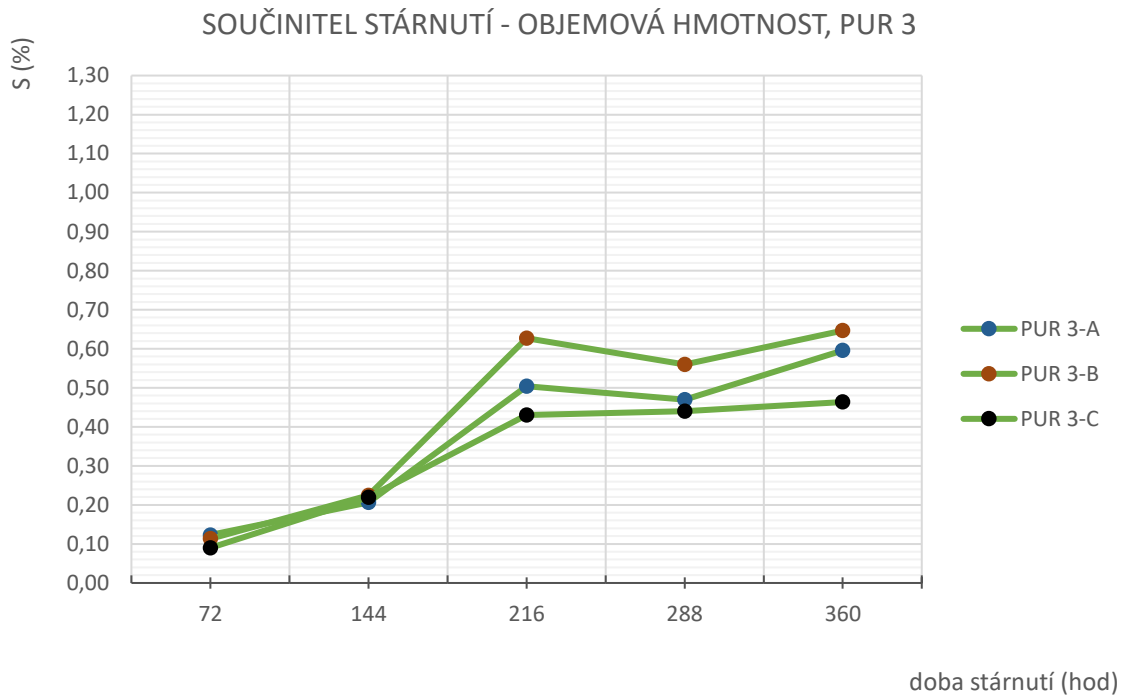
Následující grafy na obr. 18 – 22 znázorňují vývoj objemové hmotnosti jednotlivých druhů pěn v závislosti na době, po kterou byly vzorky vystaveny účinkům umělého stárnutí. Změny objemové hmotnosti jsou zaznamenány pomocí součinitele stárnutí, který vyjadřuje procentuální změnu vybrané vlastnosti vlivem simulace stárnutí.



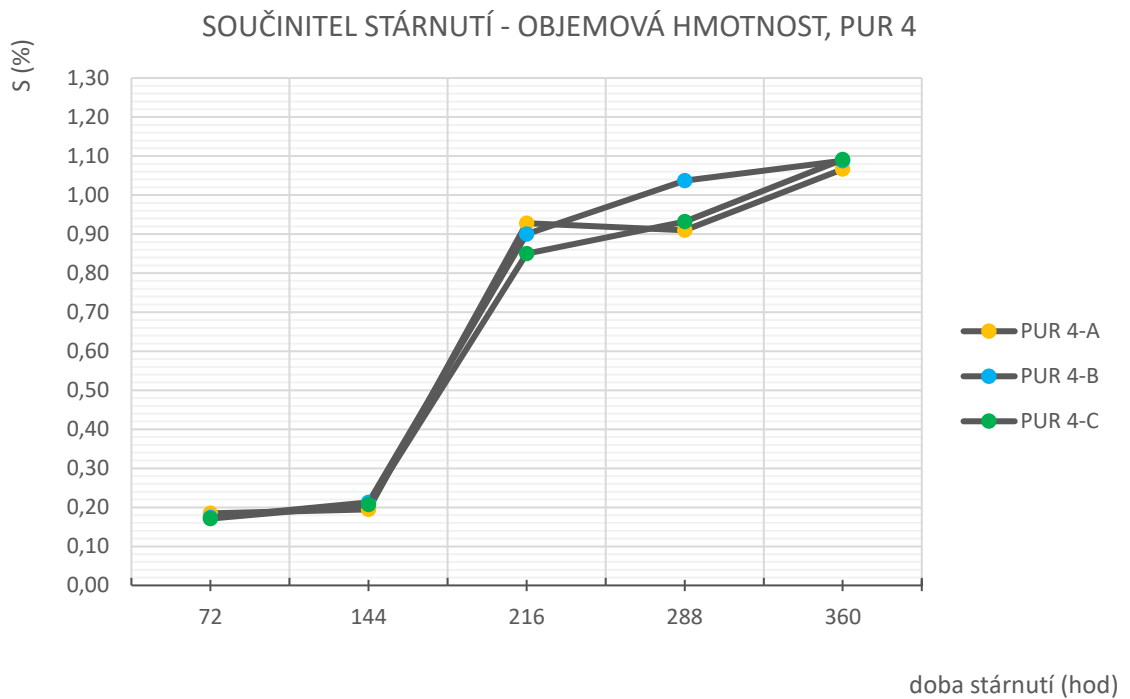
Obr. 18: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 1 (N 3050)



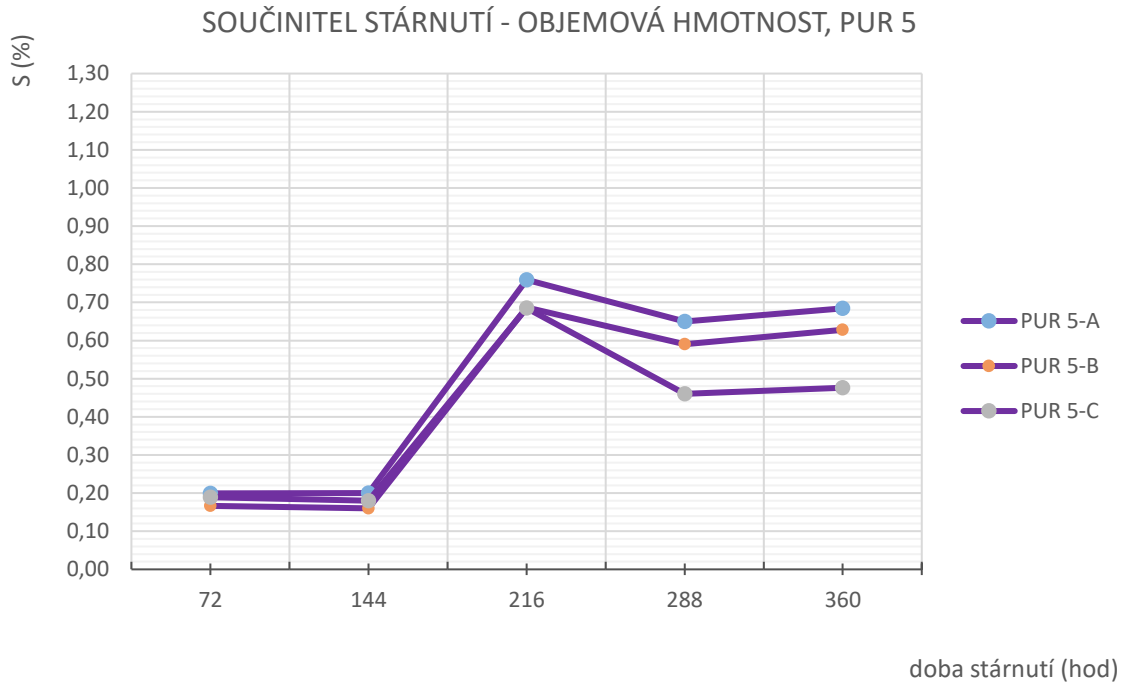
Obr. 19: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 2 (N 2530)



Obr. 20: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 3 (N 2516)

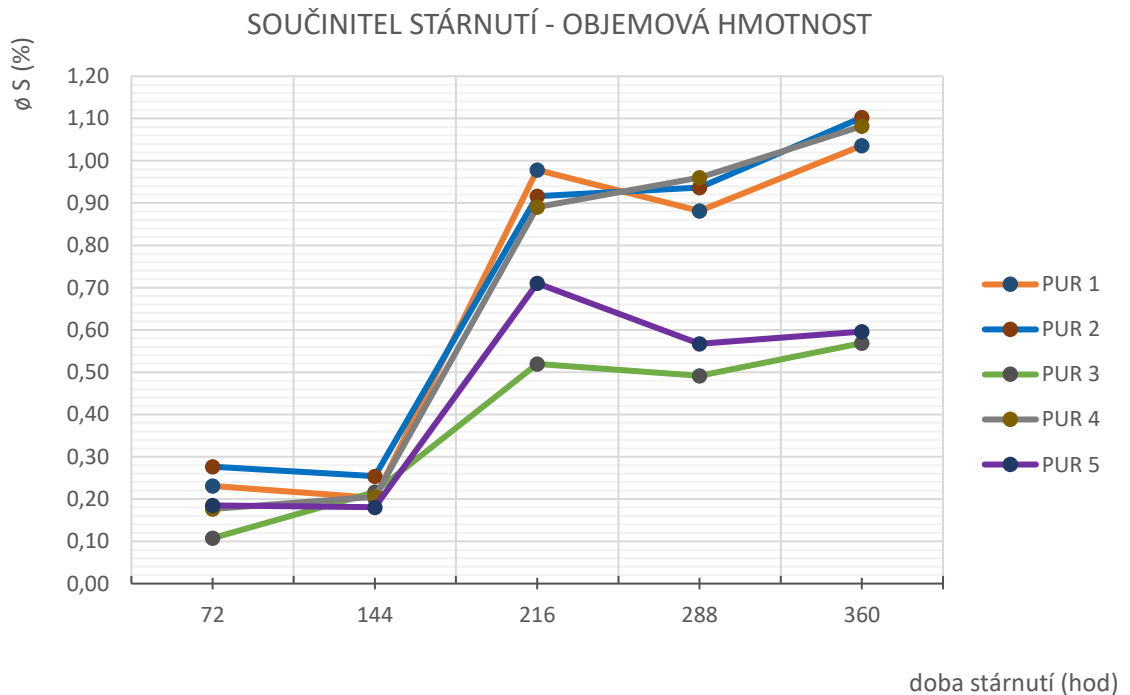


Obr. 21: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 4 (N 2545)



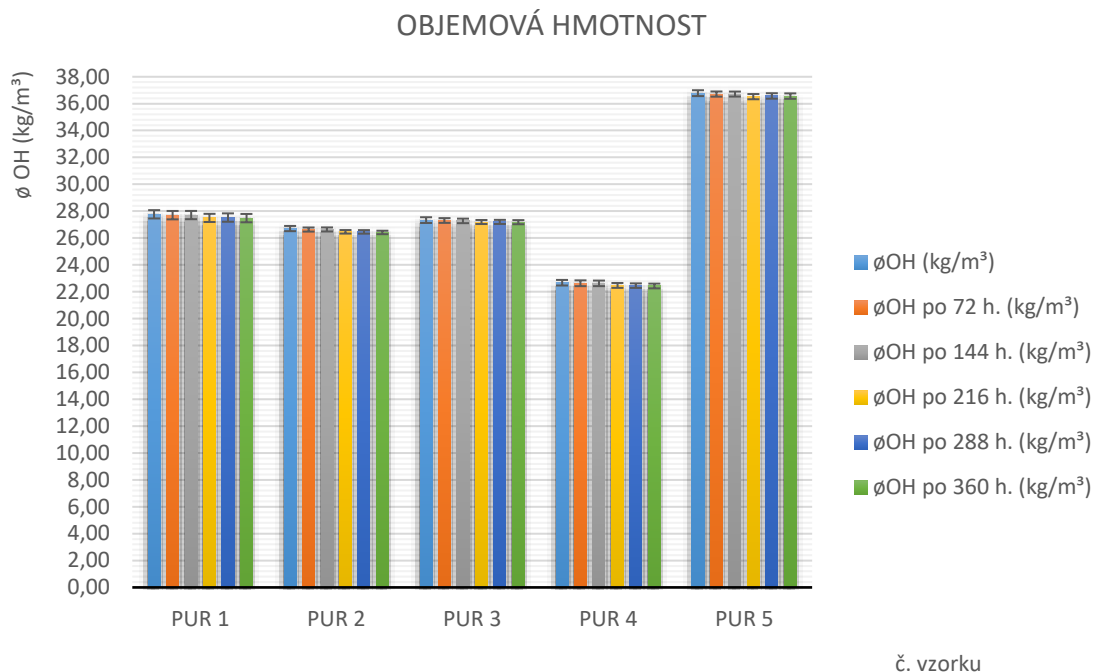
Obr. 22: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 5 (HR 4037)

Pro porovnání je zde uveden graf na obrázku č. 23, který shrnuje průměrné výsledky OH všech druhů testovaných pěn. Změny OH byly opět převedeny na procentuálně vyjádřený součinitel stárnutí.



Obr. 23: Graf – znázornění objemové hmotnosti všech testovaných druhů pěn

Na sloupcovém grafu na obr. 24 lze pozorovat výkyvy průměrných hodnot OH jednotlivých druhů pěn v průběhu stárnutí. Hodnoty OH uvedené v grafu jsou vypočteny jako průměr naměřených hodnot ze všech tří kusů vzorků jednoho druhu pěny.



Obr. 24: Graf – objemová hmotnost všech testovaných druhů pěn

První sloupec (světle modrý) grafu na obr. 24 značí průměrnou hodnotu OH nového vzorku PUR pěny. Tento naměřený údaj by měl být shodný s hodnotou, kterou uvádí výrobce v označení dané pěny. Pro výrobce platí tzv. výrobní tolerance, která u objemové hmotnosti činí $\pm 10\%$. Z uvedeného grafu a vytvořené tabulky 2 je zřejmé, že výrobce zkoušených vzorků PUR pěn splnil zadané parametry. V praxi výrobci lehčených pěn uvádějí například objemovou hmotnost 40 kg/m^3 a přitom ve skutečnosti má pěna pouhých 36 kg/m^3 , proto je vzorek PUR 3 drobnou výjimkou.

Tab. 2: Porovnání naměřené OH nových vzorků s označením výrobce

Označený vzorek	\varnothing OH (kg/m^3)	OH značené (kg/m^3)	tolerance 10 %
PUR 1	27,77	30	splňuje
PUR 2	26,70	25	splňuje
PUR 3	27,33	25	splňuje
PUR 4	22,67	25	splňuje
PUR 5	36,78	40	splňuje

Grafy na obr. 23 a 24 vycházejí z hodnot v tab. 3, zde jsou uvedeny průměrné hodnoty OH jednotlivých druhů testovaných PUR pěn a součinitel stárnutí S po každém provedeném cyklu stárnutí.

Tab. 3: Vyhodnocení průměrných hodnot OH v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím ØOH (kg/m ³)	CYKLUS STÁRNUTÍ										
		1			2		3		4		5	
		ØOH po 72 h. (kg/m ³)	72 S (%)	ØOH po 144 h. (kg/m ³)	144 S (%)	ØOH po 216 h. (kg/m ³)	216 S (%)	ØOH po 288 h. (kg/m ³)	288 S (%)	ØOH po 360 h. (kg/m ³)	360 S (%)	
PUR 1	27,77	27,70	0,23	27,71	0,20	27,50	0,98	27,52	0,88	27,48	1,04	
PUR 2	26,70	26,63	0,28	26,64	0,25	26,46	0,92	26,46	0,94	26,41	1,10	
PUR 3	27,33	27,30	0,11	27,27	0,22	27,19	0,52	27,20	0,49	27,18	0,57	
PUR 4	22,67	22,63	0,18	22,63	0,21	22,47	0,89	22,46	0,96	22,43	1,08	
PUR 5	36,78	36,71	0,18	36,71	0,18	36,52	0,71	36,57	0,57	36,56	0,60	

Závěr a diskuse výsledků

Objemová hmotnost zestárých pěn se výrazně neliší od naměřených hodnot těch nových. To dokazují výsledky na spojnicových grafech na obr. 18 - 22, kde lze vidět pozvolna vzrůstající součinitel stárnutí pro objemovou hmotnost jednotlivých druhů pěn. Tento jev značí pomalu se zhoršující OH vlivem stárnutí a to zejména kvůli úbytku váhy jednotlivých pěn.

V grafu na obr. 23 jsou křivky, které charakterizují průměrný procentuální nárůst a úbytek OH na zkoušených PUR pěnách. Nejvyššího dosaženého úbytku OH dosáhl vzorek PUR 2 s 1,10 % spolu s PUR 4 s 1,08 %. Tyto dvě pěny mají velice podobný průběh zkoušky, jehož důvodem může být stejná počáteční OH spolu s malým rozdílem tvrdosti pěny. Jak již bylo uvedeno, tyto dva parametry spolu úzce souvisí. Oproti tomu nejnižšího úbytku OH s necelými 0,6 % má vzorek PUR 3. Hned v závěsu je vzorek HR pěny PUR 5. U vzorku studené pěny PUR 5 se tento vývoj, vzhledem k odlišným vlastnostem od ostatních vzorků tzv. „horkých pěn“, očekával. PUR 3 je vzorek s nejnižší testovanou tuhostí, což je nejpravděpodobnější příčinou těchto výsledků. Z dat v grafu na obr. 24 je patrné, že u průměrné OH vzorků podrobených celkem 360 hod. simulace stárnutí nedošlo k výrazným poklesům této testované vlastnosti.

Předpokládaným vývojem bylo průběžně vzrůstající procento objemové hmotnosti vyjádřené součinitelem stárnutí, což se ve skutečnosti přes drobné výkyvy potvrdilo. Největší výkyv nastal po 3. cyklu stárnutí (216 h), kdy hodnoty u všech vzorků prudce vzrostly až o půl procenta. Poté se v následujícím cyklu (288 h) projevil mírný

pokles hodnot, což znamená mírné zlepšení OH. Po pěti nasimulovaných cyklech stárnutí (360 h.) ztratí testované vzorky PUR pěn v průměru 1,08 – 0,60 % své objemové hmotnosti. Co je příčinou tohoto výrazného výkyvu? Jednou z možností může být chyba měření, nebo může pokles hmotnosti značit zborcení buněčné struktury.

Jeden z prodejců pěnových matrací odhaduje, že tzv. „řidší“ typ pěny, což je pěna s objemovou hmotností do 25 kg/m³, vydrží 1 až 2 roky a u pěn s OH 40 kg/m³ je životnost okolo 8 let. Ani jedno z těchto tvrzení nekoresponduje s výsledky této práce. Vzorky PUR 2, 3, 4 jsou pěny s OH 25 kg/m³ a po pěti cyklech stárnutí (360 h.), které mají simulovat necelých 5 let, se tato vlastnost zhoršila v rozmezí 0,57 – 1,10 %. U PUR 5 (OH 40 kg/m³) ukazuje součinitel stárnutí úbytek vlastností o 0,60 %. Jednoznačně však nelze vyvrátit výše uvedené tvrzení výrobce, jelikož výsledky se vztahují pouze na testované pěny v této práci. Zároveň vzorky PUR pěn prošly simulací umělého stárnutí bez dynamického zatížení, které může výrazně ovlivnit životnost matrace.

V teorii se uvádí, čím je OH nižší, tím má PUR pěna menší únosnost, a to platí i naopak. Objemová hmotnost se procesem stárnutí snižuje, čímž by se podle předchozího tvrzení měla snižovat i její únosnost. Toto snižování OH vlivem procesů stárnutí je spíše pozvolného charakteru, proto lze usoudit, že tato vlastnost není zásadním faktorem životnosti matrace z PUR pěny.

5.2 Stanovení odolnosti materiálu při stlačení

Zkouška odporu proti stlačení je provedena na principu vycházejícím z normy ČSN EN ISO 3386-1. Metoda spočívá v umístění zkušební vzorku pěny mezi dva ploché povrchy – statickou podložkou a stlačovací čelist s plochou deskou větší než testovaný vzorek, kdy vlivem horní čelisti dochází ke stlačování vzorku na příslušnou hodnotu jeho tloušťky a to v několika cyklech během jednoho měření.

Během zkoušky se měří zatížení na testované těleso celkem ve čtyřech cyklech. První tři při stlačení o 70 % původní tloušťky vzorku, u čtvrtého cyklu je stlačení o 40 % tloušťky. Zkušební těleso je stlačováno konstantní normovanou rychlostí (100 ± 20) mm*min⁻¹ do okamžiku, kdy stlačení dosáhne 40 % jeho původní tloušťky. V tomto bodě je zaznamenána síla v newtonech. Pro konečné výpočty je nutné vyjádřit si plochu povrchu zkušební tělesa. Z rovnice (7) se vypočítá hodnota napětí v tlaku

CV při stlačení na 40 % původní tloušťky v kilopascálech. Po každé provedené zkoušce stárnutím byl tento postup opakován.

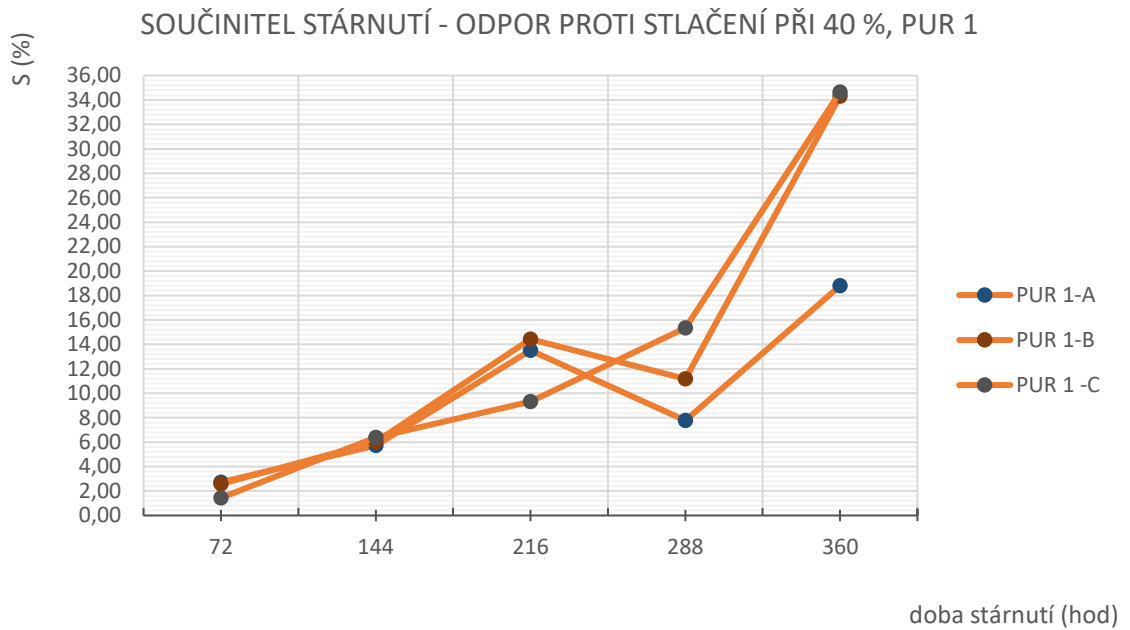
Jediné rozměrové omezení, které norma uvádí je, že plocha zkušebních těles musí být větší než 2500 mm² a tloušťka nesmí být menší než 10 mm, což zkušební vzorky splňují. Mírná nestejnomyšnost tloušťky vzorků nemá vliv na výsledné hodnoty, zejména díky definování každé zkoušky pro jednotlivé vzorky na zkušebním zařízení. Také nestejnomyš rozměry jednotlivých zkušebních těles neovlivňují výsledné CV, jelikož je vždy počítáno s reálnou plochou povrchu testovaného tělesa.

Pro další zkoušení bylo potřebné nechat vzorky zotavit na 16 hodin v normálním prostředí. Výsledkem měření je odpor proti stlačení při 40 % tloušťky každého testovaného vzorku.

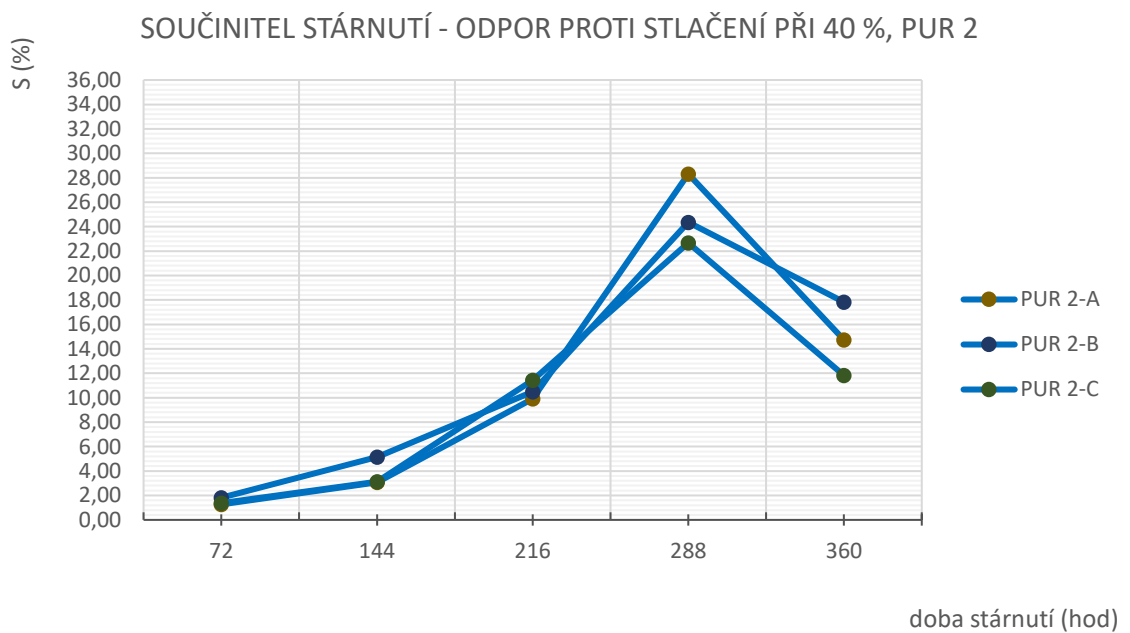
Výsledky měření odporu proti stlačení při 40 % na vzorcích PUR pěn

Po jednotlivých cyklech stárnutí proběhlo měření CV₄₀ a bylo vždy vyhodnoceno měření u všech pěti druhů pěn. Veškerá naměřená data byla zaznamenávána, zpracovávána a vyhodnocována pomocí programu do tabulek a přehledných grafů. Tyto hodnoty a jejich výpočty jsou obsahem přílohy č. 2.

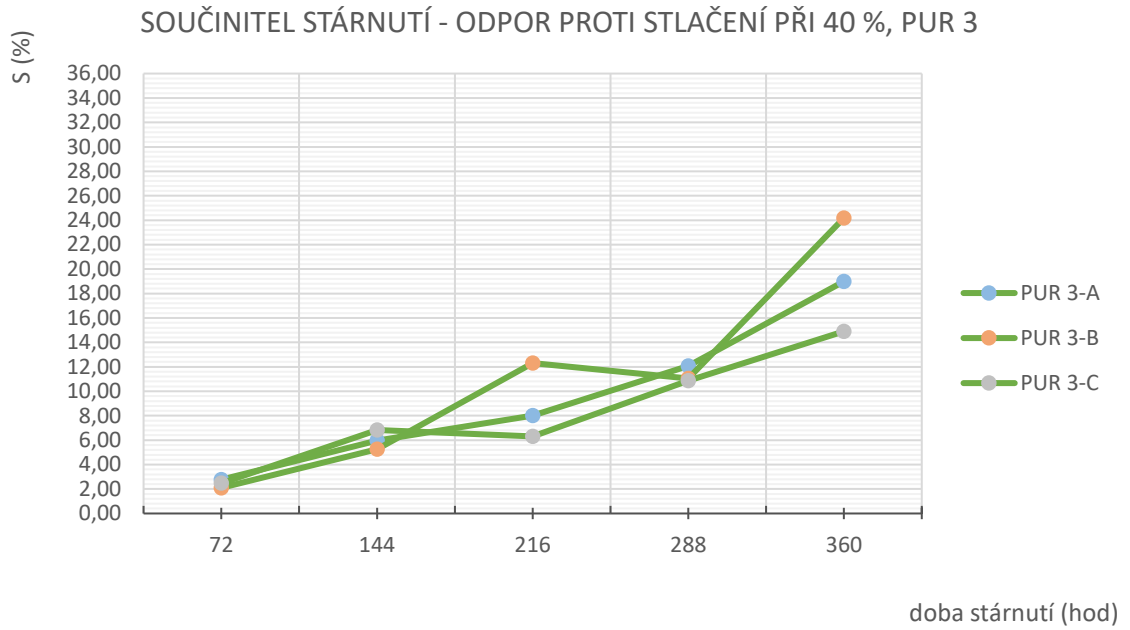
Průběh celé simulace stárnutí pro každou z pěti druhů pěn testovaných vzorků na odpor proti stlačení znázorňují grafy na obr. č. 25 – 29. Hodnoty CV jsou v těchto grafech vyjádřeny součinitelem stárnutí v procentech ukazujících změnu odporu proti stlačení vlivem stárnutí.



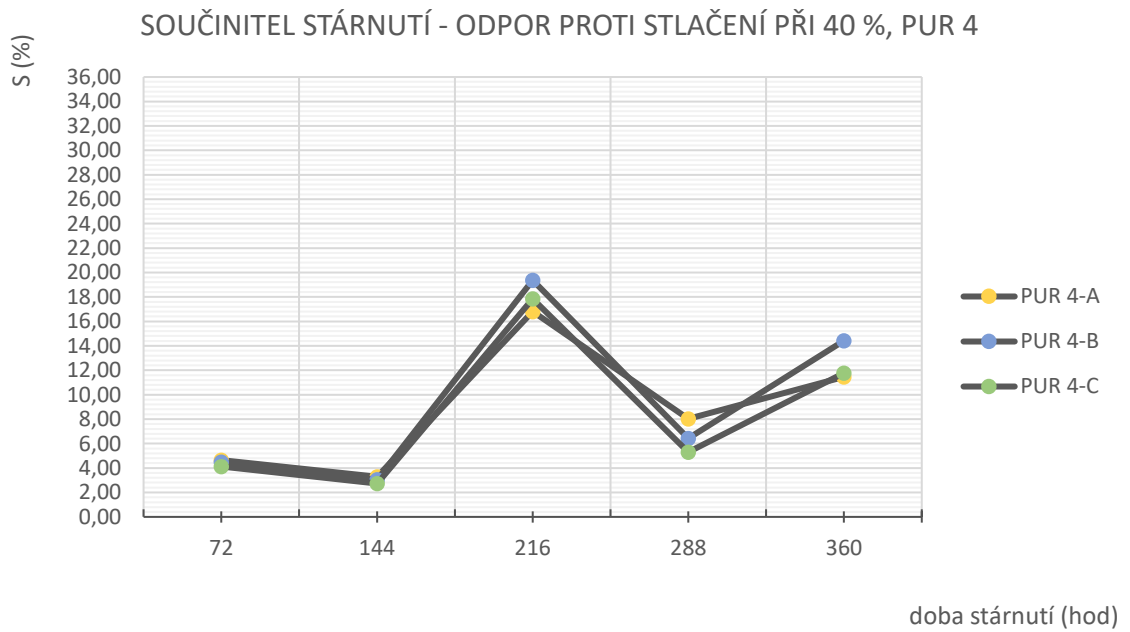
Obr. 25: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 1 (N 3050)



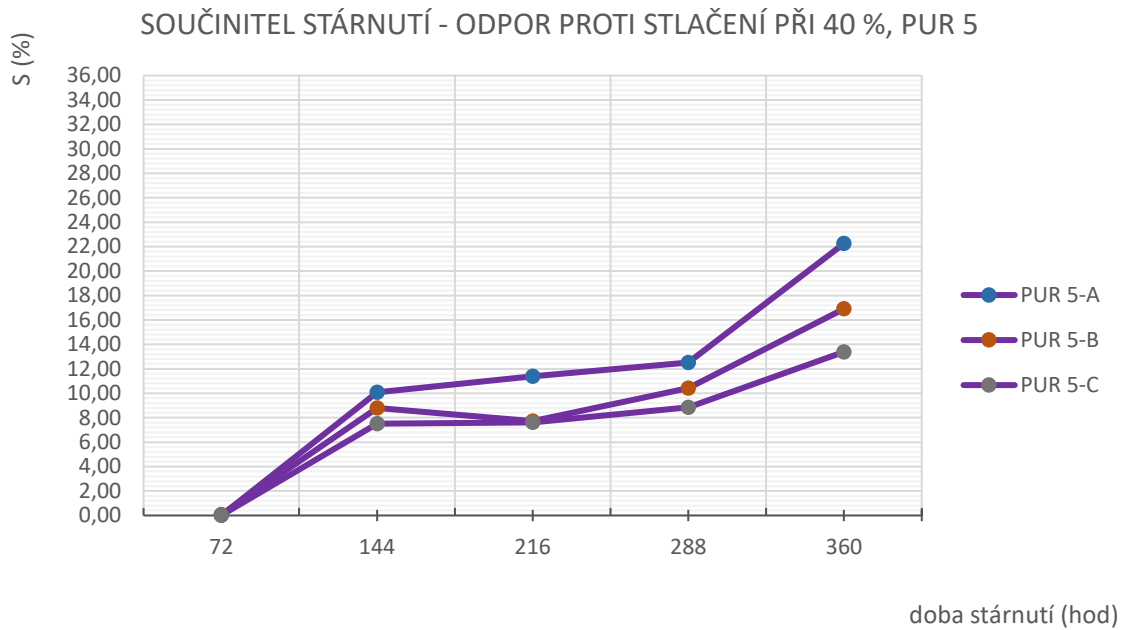
Obr. 26: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 2 (N 2530)



Obr. 27: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 3 (N 2516)

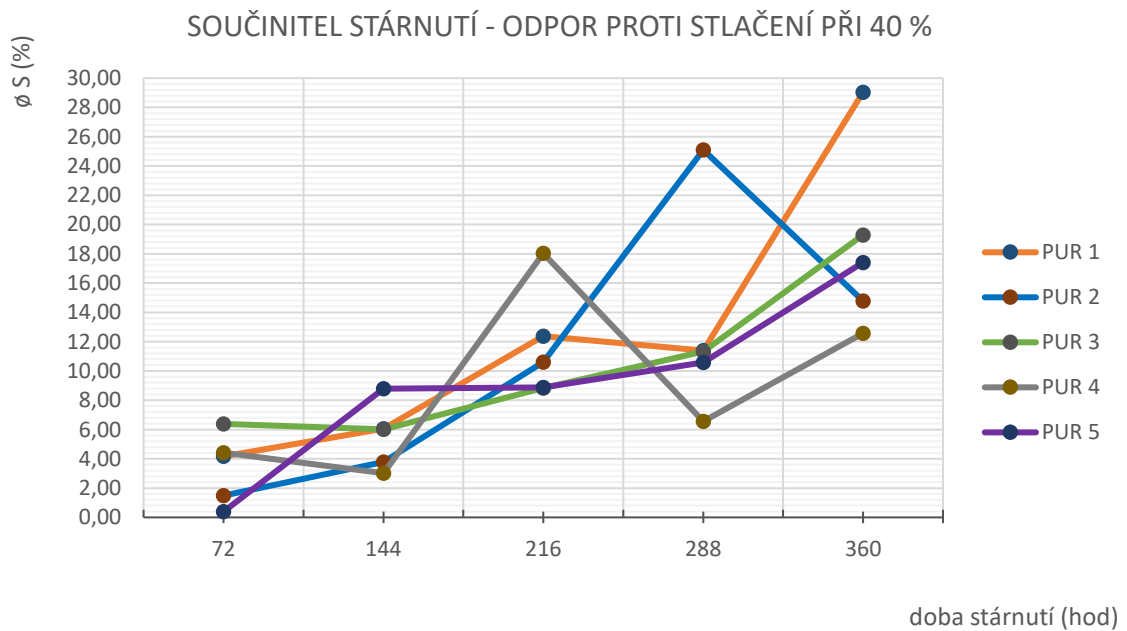


Obr. 28: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 4 (N 2545)



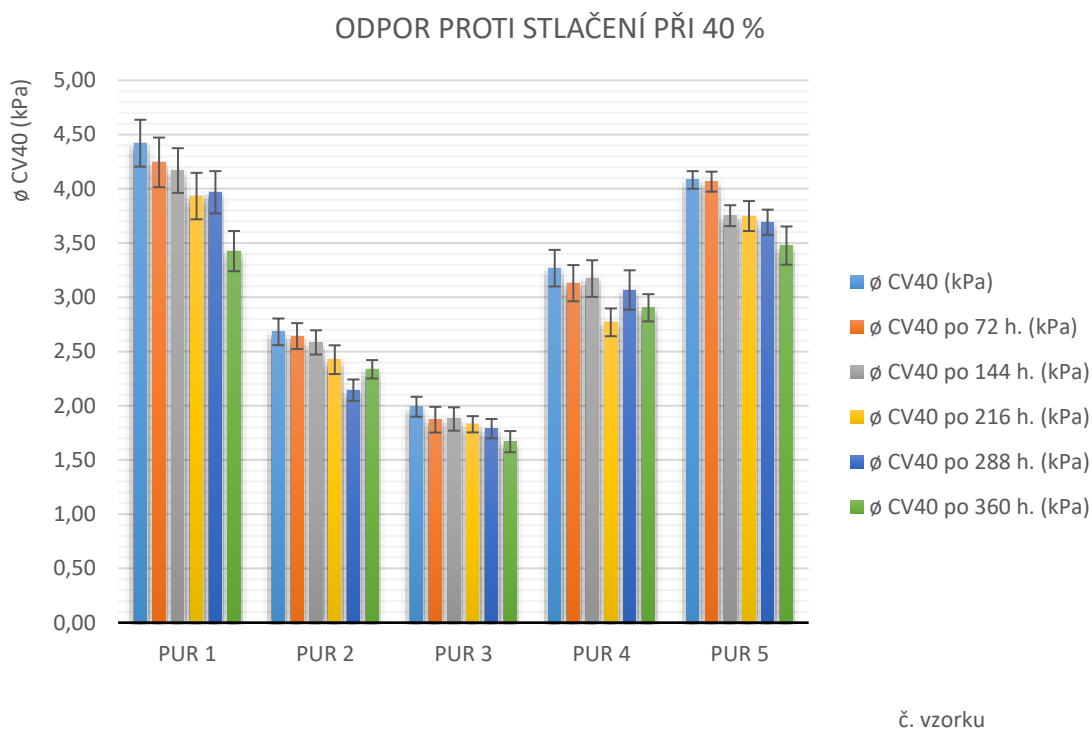
Obr. 29: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 5 (HR 4037)

Pro ukázkou je zde uveden graf na obr. 30 zaznamenávající průběh stárnutí odporu proti stlačení u všech testovaných druhů PUR pěn. Na tomto grafu lze porovnat vývoj vlivu stárnutí na testovanou vlastnost u jednotlivých druhů pěn.



Obr. 30: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % všech testovaných druhů pěn

Zajímavé je srovnání průměrných hodnot CV_{40} jednotlivých druhů testovaných pěn do sloupcového grafu, viz obr. 31, jejichž průběh v procesu stárnutí má výrazné odlišnosti od očekávaného průběhu. K vypočteným průměrným výsledkům CV_{40} je nutné dodat, že jsou získány z naměřených hodnot vždy tří vzorků každého druhu pěny.



Obr. 31: Graf – odpor proti stlačení při 40 % všech testovaných druhů pěn

Při kontrole označených údajů je důležité počítat s tím, že pěnové materiály jsou vyráběné v určité povolené toleranci, proto při jejich přeměřování je nutné počítat s určitou výchytkou. Na základě hodnot z grafu na obr. 31 a doplňující tabulky 4 lze posoudit, zda výrobce testovaných vzorků pěn splnil parametry výrobní tolerance pro tento druh zkoušky a materiálu. Toleranci pro odpor proti stlačení udává norma $\pm 15\%$. Z níže uvedené tabulky 4 je zřejmé, že vzorky PUR 3 a PUR 4 nespĺňují danou toleranci. U vzorku PUR 3 je polehčující okolnosti zjištění, že naměřená hodnota CV_{40} je vyšší než značená, to však nelze tvrdit o PUR 4.

Tab. 4: Porovnání naměřené CV₄₀ nových vzorků s označením výrobce

Označený vzorek	Ø CV ₄₀ (kg/m ³)	CV ₄₀ značené (kg/m ³)	tolerance 15 %
PUR 1	4,4	5,0	splňuje
PUR 2	2,7	3,0	splňuje
PUR 3	2,0	1,6	nesplňuje
PUR 4	3,3	4,5	nesplňuje
PUR 5	4,1	3,7	splňuje

Grafy na obr. 30 a 31 vycházejí z hodnot v tab. 5, kde se uvádějí průměrné hodnoty CV₄₀ pro jednotlivé druhy zkoušených vzorků spolu se součinitelem stárnutí S pro každý provedený cyklus stárnutí.

Tab. 5: Vyhodnocení průměrných hodnot CV₄₀ v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím Ø CV ₄₀ (kPa)	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
		Ø CV ₄₀ po 72 h. (kPa)	72 S (%)	Ø CV ₄₀ po 144 h. (kPa)	144 S (%)	Ø CV ₄₀ po 216 h. (kPa)	216 S (%)	Ø CV ₄₀ po 288 h. (kPa)	288 S (%)	Ø CV ₄₀ po 360 h. (kPa)	360 S (%)
PUR 1	4,42	4,24	4,17	4,17	6,05	3,93	12,39	3,97	11,40	3,43	29,04
PUR 2	2,68	2,64	1,49	2,58	3,79	2,42	10,60	2,14	25,10	2,34	14,79
PUR 3	1,99	1,87	6,38	1,88	6,01	1,83	8,85	1,79	11,32	1,67	19,29
PUR 4	3,27	3,13	4,42	3,17	3,02	2,77	18,03	3,07	6,56	2,90	12,57
PUR 5	4,08	4,07	0,39	3,75	8,78	3,75	8,88	3,69	10,57	3,48	17,41

Závěr a diskuse výsledků

Na první pohled je patrné, že se procesem stárnutí odpor proti stlačení při 40 % původní tloušťky zkoušených těles nevyvíjí jednotně, jak by se u některých druhů pěn očekávalo. To dokazují grafy pro jednotlivé druhy pěn na obr. 25 – 29.

Z obrázku 30 je zřejmé, že pěna PUR 1, nejtvrďší testovaný vzorek, vykazuje během simulace stárnutí největší procentuální úbytek CV₄₀, který je v průměru 29,04 %. Největšími změnami prošel vzorek PUR 4 (N2545), u kterého v různých fázích stárnutí dochází ke střídavým poklesům a opětovným nárůstům hodnot. Po 216 hod. stárnutí dosahuje max. průměrný součinitel stárnutí 18,03 %, po 288 hod. stárnutí klesá dokonce na 6,56 % a po závěrečném cyklu 360 hod. stárnutí dosáhne 12,57 %. Tento extrémní vývoj je ojedinělý z celé testace. Všechna zkoušená tělesa vyjma PUR 2 ostře vzrostla v posledním cyklu stárnutí po 360 hod. Nejmenší dosaženou změnu eviduje PUR 4

a hned poté PUR 2. Po pěti nasimulovaných cyklech stárnutí (360 h.) ztratí testované vzorky PUR pěn v průměru 12,57 – 29,04 % své tuhosti.

Tvrdość pěny značí hodnota odporu proti stlačení, což je hodnota tlaku, který je potřebné vyvinout pro stlačení pěny na určitou procentuální hodnotu původní výšky. PUR pěny mají jednu negativní vlastnost při dlouhodobém působení cyklického namáhání dochází ke ztrátě tvrdosti. Tato ztráta je mnohem intenzivnější u pěn tvrdších i přes to, že mají stejnou hustotu. [26] Toto tvrzení lze ověřit u testovaných vzorků PUR 2, 3, 4, které mají stejnou OH, ale odlišnou tuhost. Nejtěžší z těchto vybraných vzorků je PUR 4, následuje PUR 2 a poté PUR 3. Z grafu na obr. 30 je na první pohled viditelné, že výše uvedené tvrzení není v souladu s výsledky testovaných lehčených pěn. Největší úbytek tvrdosti zaznamenal vzorek PUR 1, který je zároveň nejtvrdějším ze všech testovaných těles, čímž se naopak potvrzuje intenzita ztráty této vlastnosti.

Autorka práce předpokládala pozvolně rostoucí procento součinitele stárnutí této vlastnosti. Avšak z průběhu provedeného měření lze pozorovat proměnlivý vývoj CV_{40} v procesu stárnutí. Jednou z příčin těchto výkyvů může být otevřená a uzavřená buněčná struktura pěn, u které mohlo dojít vlivem simulace stárnutí za tepla ke zborcení či narušení této uzavřené struktury. Nelze také vyloučit možnou chybu měření. Výsledky této práce poukazují na ztrátu tvrdosti v procesu stárnutí na vybraných testovaných vzorcích. V tomto měření nejsou zkušební tělesa dynamicky namáhána, tak jak tomu je při běžném používání matrací.

5.3 Stanovení SAG faktoru

Zkouška pro vyhodnocení SAG faktoru metodicky vychází z testování odporu proti stlačení. Pro získání dat je použito stejné měřicí zařízení. Podstatou rozdílu oproti měření sil při stlačení je naměření sil při vtlačování o dané procento tloušťky vzorku. Sleduje se velikost síly potřebné pro vtlačení do vzorku o 25 % a 65 % jeho tloušťky.

Zkouška pro stanovení SAG faktoru se provádí za podmínek metody B normy ČSN EN ISO 2439, která vyžaduje zkušební přístroj pro testování tvrdosti vtlačováním. Ten se skládá z podložky bez otvorů pro proudění vzduchu a vtlačovacího kotouče s doporučeným průměrem 200 mm. Ideální počet zkoušených těles je 3. Před zahájením zkoušky se doporučuje kondicionování na min. 16 hod. při 23/50.

Testovaný vzorek je umístěn na podložku zkušebního přístroje TIRA test (viz obr. 16) a provádí se úvodní stlačování na 70 % tak, že se rychlostí 100 ± 20 mm/min vzorek stlačí o $70 \pm 2,5$ % jeho tloušťky. Celý tento proces se bude opakovat celkem 2krát. Následně se testovaný vzorek stlačí o 25 ± 1 % tloušťky po dobu 30 s a naměří se síla vynaložená ke stlačení. Poté se stlačení zvětšuje na 40 ± 1 % a 65 ± 1 % tloušťky, kde opět setrvává po dobu 30 s a změří se potřebná síla. Výsledkem je aritmetický průměr hodnot SAG faktoru počítaný dle vzorce (4) pro dané měření a druh pěny.

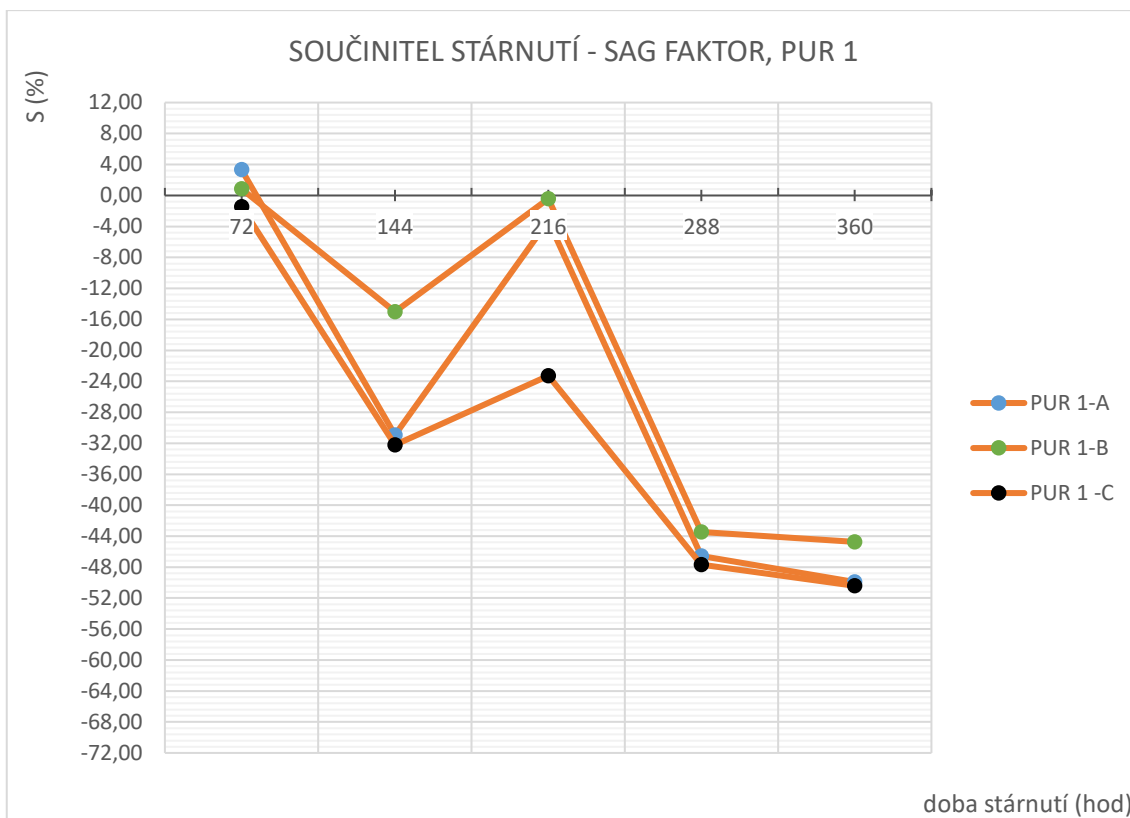
Vzhledem k okolnostem s rozměry vzorků a možnostem vtlačovacího kotouče bylo nutné upravit testovací metodu. Normovaný průměr kruhové vtlačovací čelisti je 200 mm a ta má být vtlačována do čtvercového testovaného tělesa o straně velikosti 380 mm. Zkušební tělesa PUR pěn mají plochu tvaru obdélníku, kterou lze pomyslně rozdělit na dva čtverce o straně cca 80 mm. Na každý čtverec působí kruhová čelist o průměru 50 mm klesající o stanovenou hodnotu. Touto modifikací rozměrů působící čelisti na daný vzorek bylo možné provést testování. Každý vzorek byl tedy testován ve dvou různých bodech, čímž se získalo větší množství dat.

Po zkoušce stárnutím byl postup opakován stejným způsobem jako u prvního měření. Hodnoty naměřených sil při 25 % a 65 % deformaci byly dosazeny do vzorce (9). Z výpočtu byly získány hodnoty komfortu jednotlivých pěn před a po zkoušce stárnutím.

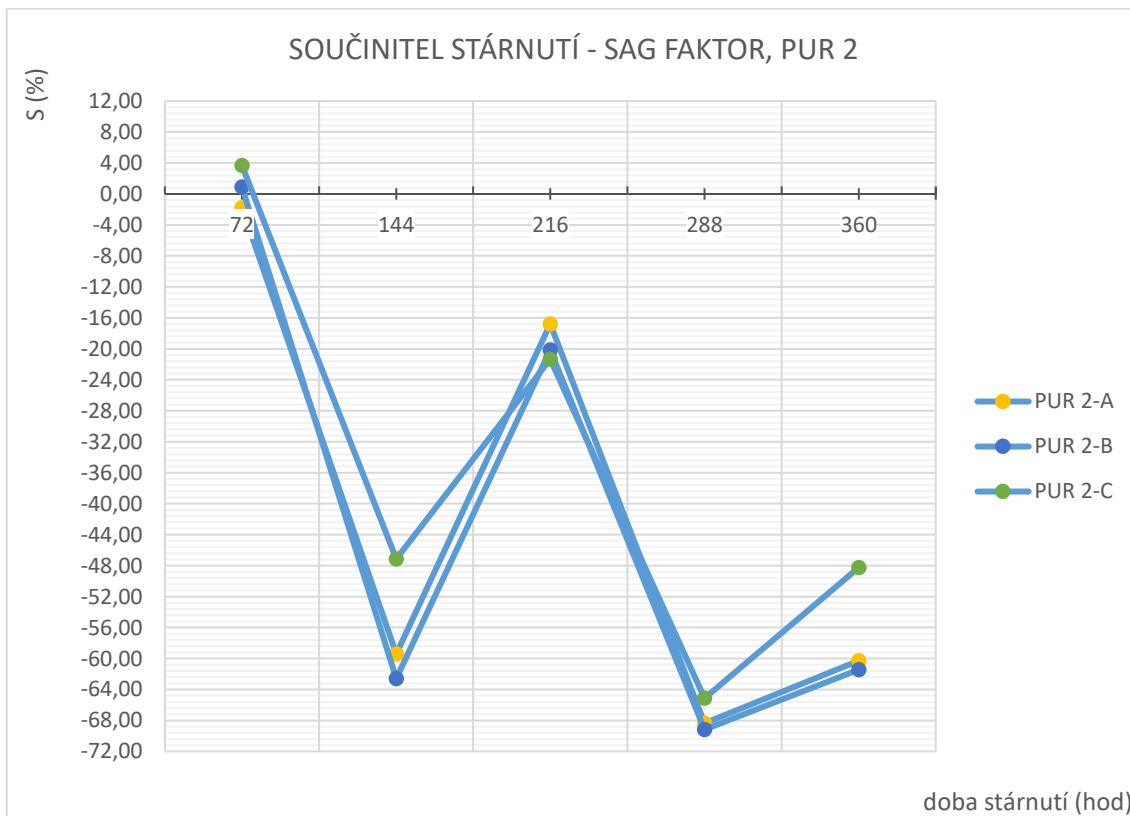
Výsledky měření SAG faktoru na vzorcích PUR pěn

Po testování předešlých dvou vlastností následovalo poslední měření pro získání SAG faktoru. To proběhlo na zařízení TIRA test 2300, kde jsou měřeny síly F v newtonech při stlačení o danou hodnotu tloušťky vzorku. Veškeré měřené hodnoty byly pomocí programu zpracovány do přehledných tabulek a graficky vyhodnoceny. Veškeré naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení se nachází v příloze č. 3.

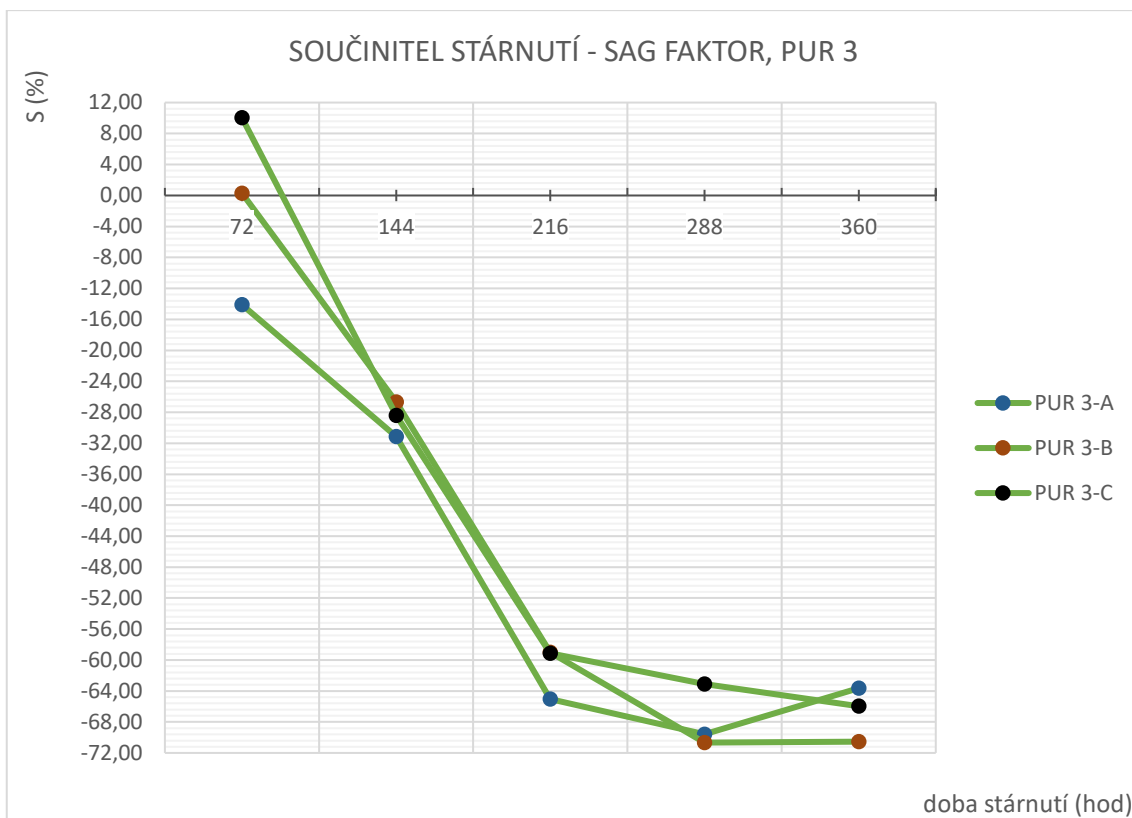
V následujících grafech (viz obr. 32 – 36) pro jednotlivé zkoumané druhy pěn jsou ve stejném měřítku znázorněny vývoje SAG faktoru v procesu stárnutí. Z grafů je na první pohled patrné, že hodnoty součinitele stárnutí této vlastnosti sahají převážně do minusových hodnot, což značí zlepšující se SAG faktor vlivem stárnutí daného druhu pěny. Tento součinitel znázorňuje změny faktoru komfortu vlivem stárnutí.



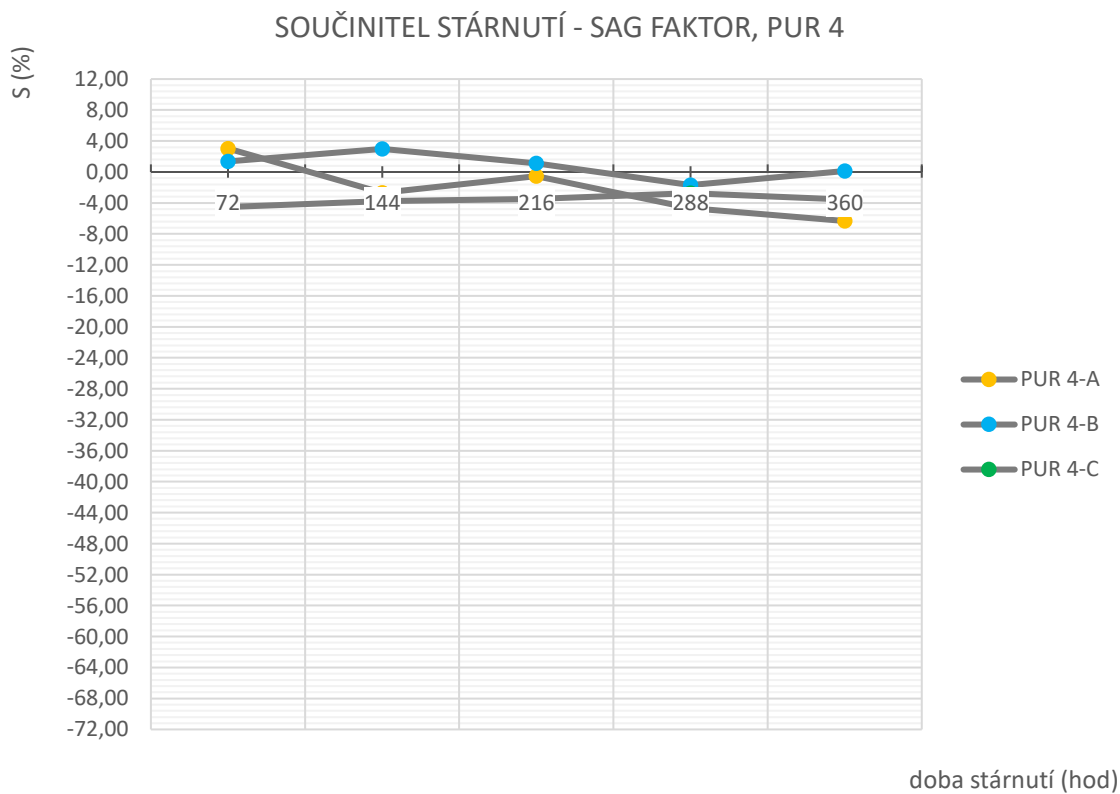
Obr. 32: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 1 (N 3050)



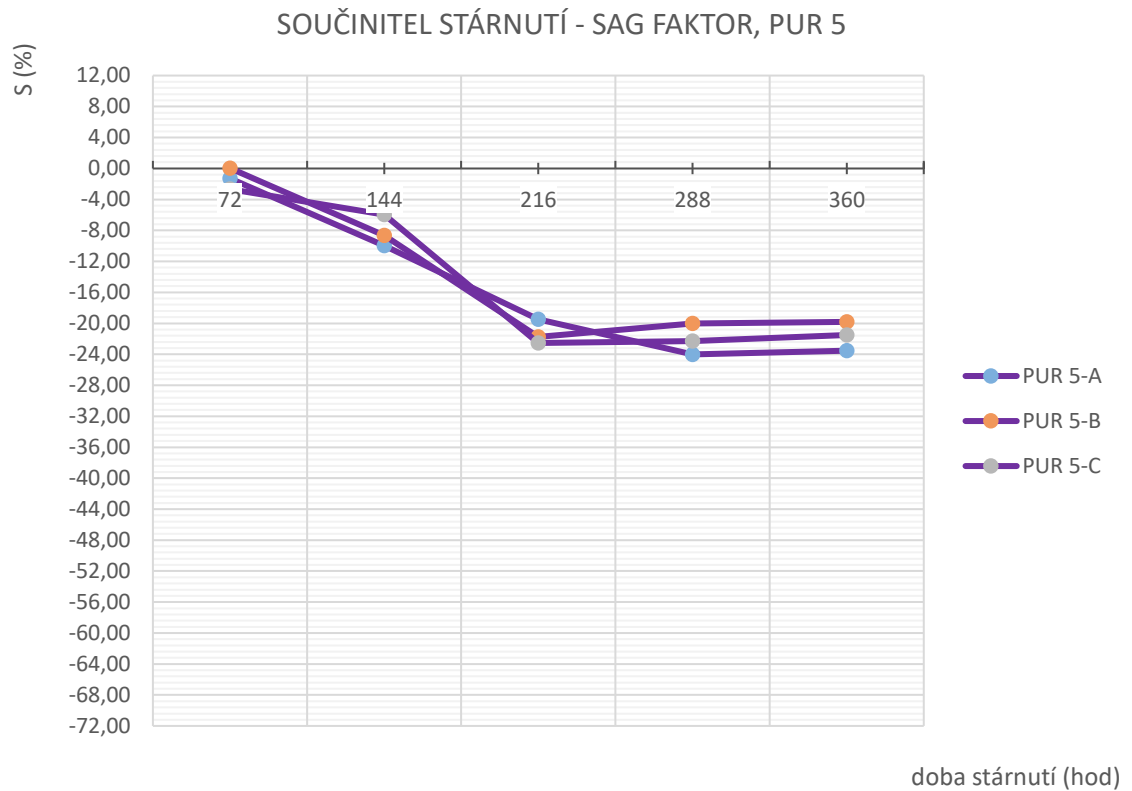
Obr. 33: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 2 (N 2530)



Obr. 34: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 3 (N 2516)

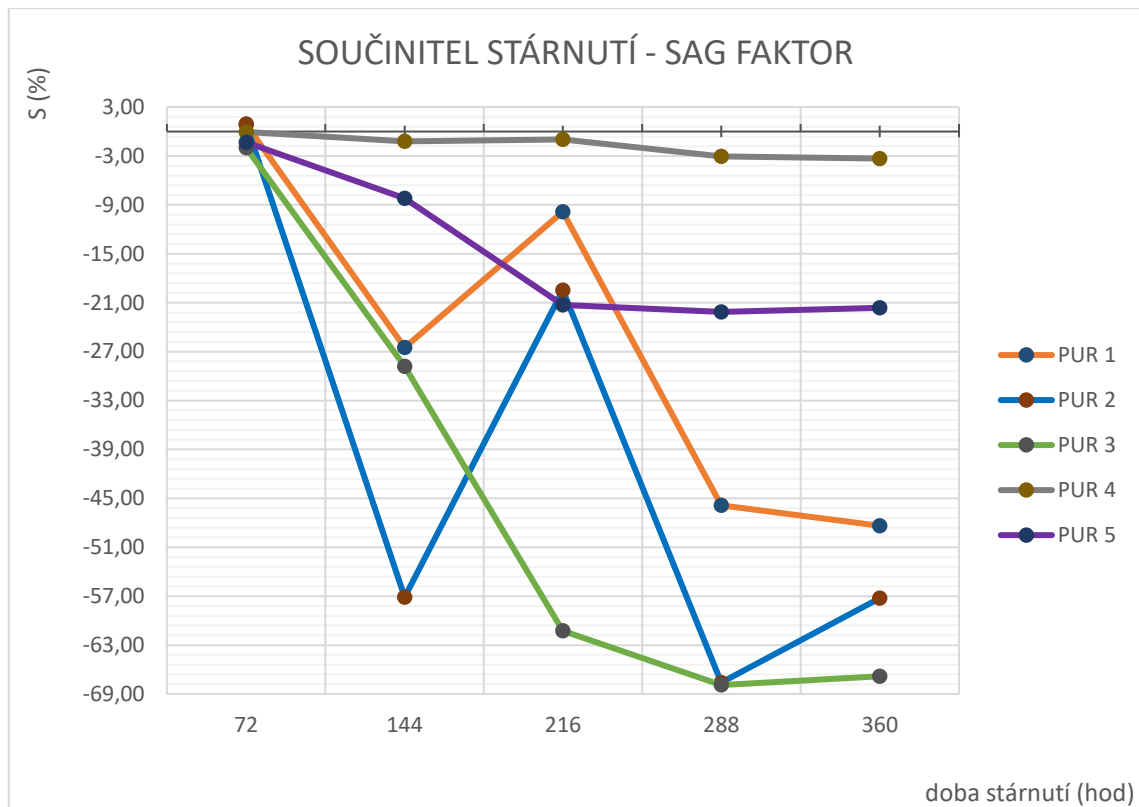


Obr. 35: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 4 (N 2545)



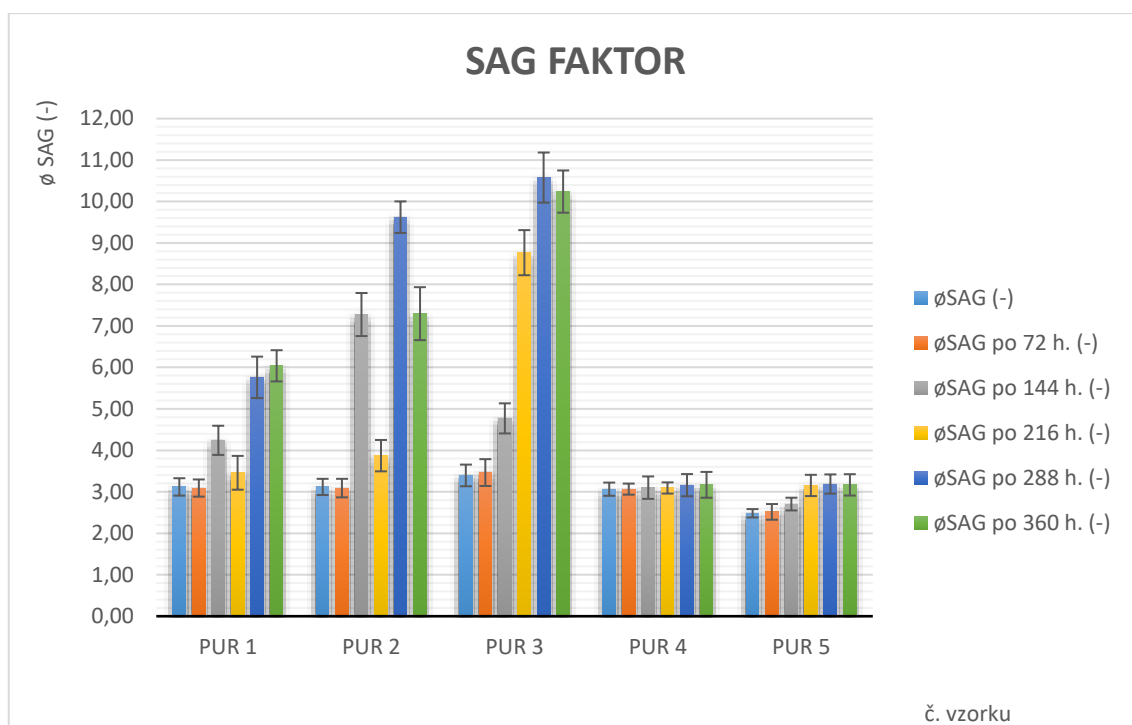
Obr. 36: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 5 (HR 4037)

V grafu (viz obr. 37) je zaznamenán průběh SAG faktoru všech vzorků vyjádřeného součinitelem stárnutí v jednotlivých cyklech. Tento graf shrnuje a zároveň porovnává změnu SAG faktoru za simulace stárnutí všech pěti vzorků PUR pěn.



Obr. 37: Graf – znázornění SAG faktoru všech testovaných druhů pěň

Sloupcový graf na obr. 38 poukazuje na průměrné hodnoty SAG faktoru jednotlivých druhů PUR pěň procházející procesem simulovaného stárnutí. Průměrné hodnoty vyjádřené vždy ze tří vzorků každého druhu lze jednoduše porovnat a pozorovat jejich vývoj. První sloupec stejné barvy vždy znázorňuje průměr z naměřené vlastnosti před stárnutím, další pak průměrné naměřené hodnoty dané vlastnosti po jednotlivých cyklech stárnutí. Oproti ostatním vlastnostem jsou zde znatelné odlišnosti a výkyvy v celém průběhu stárnutí.



Obr. 38: Graf – SAG faktor všech testovaných druhů pěn

SAG faktor je hodnota, která se uvádí pouze pro nové pěnové materiály. V procesu stárnutí její vývoj není prozatím znám. U pěn typu HR se má SAG faktor pohybovat ve vyšší hodnotách, zejména díky své pružnosti a lepší prodyšnosti. Podobně tomu je u pěn tužších, ty mají mít SAG okolo 3 (-). Klasické pěny typu N se pohybují v rozmezí 2,4 – 2,7 (-). Z uvedených průměrných hodnot v tabulce 6 v druhém sloupci (před stárnutím) jsou hodnoty nových vzorků. Z těchto dat vyplývá, že veškeré testované vzorky nesplňují výše vytyčené meze.

Tab. 6: Vyhodnocení průměrných hodnot CV40 v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím øSAG (-)	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
		øSAG po 72 h. (-)	72 S (%)	øSAG po 144 h. (-)	144 S (%)	øSAG po 216 h. (-)	216 S (%)	øSAG po 288 h. (-)	288 S (%)	øSAG po 360 h. (-)	360 S (%)
PUR 1	3,12	3,09	0,88	4,24	-26,49	3,46	-9,85	5,76	-45,87	6,04	-48,36
PUR 2	3,12	3,09	0,91	7,28	-57,14	3,87	-19,47	9,62	-67,60	7,30	-57,26
PUR 3	3,40	3,46	-1,99	4,77	-28,83	8,77	-61,27	10,58	-67,90	10,24	-66,84
PUR 4	3,06	3,07	-0,05	3,10	-1,19	3,09	-0,95	3,16	-3,06	3,17	-3,31
PUR 5	2,48	2,52	-1,32	2,70	-8,20	3,15	-21,29	3,19	-22,13	3,17	-21,63

V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty SAG faktoru a jejich součinitel stárnutí S pro jednotlivé druhy testovaných pěn v každém provedeném cyklu stárnutí. Z hodnot v této tabulce čerpají grafy znázorněné na obrázku 37 a 38.

Závěr a diskuse výsledků

Zajímavým zjištěním celého měření je výrazný pokles hodnot součinitele stárnutí SAG faktoru, které klesají v rozmezí -0,05 % až -67,9 %. Tento pokles značí neustále se zlepšující faktor komfortu vlivem stárnutí, což znamená, že pěny se stávají komfortnější. Přitom předpokladem bylo pozvolna vzrůstající procento změn tohoto faktoru při procesu stárnutí nebo také to, že hodnota SAG faktoru bude klesat vlivem stárnutí. Tento předpoklad nebyl naplněn a lze říci, že faktor komfortu nabral opačný trend.

Z hodnot grafu pro průměrné výsledky SAG faktoru jednotlivých druhů pěn (viz obr. 38) vyplývá, že veškeré výsledky SAG faktoru jsou několikanásobně nad běžnou hodnotou SAG, která je uváděna pouze pro nové pěny. Nové pěny všech zkoušených druhů dosahují vyšších, ale přesto standardních hodnot SAG faktoru. Průběh stárnutí, zejména po 3. cyklu (216 h), nabral neočekávaný vývoj zejména pro první tři zkušební vzorky. V tomto bodě došlo k prudkému nárůstu hodnot a poté tento trend následoval. Rozdíly mezi novými pěnama a těmi zestárlymi jsou více než trojnásobně vyšší. Nejvyšších hodnot dosahují vzorky PUR 3 s 10,8 a PUR 2 s 9,62. Tak trochu ideálním i odlišným vývojem procházejí vzorky PUR 4 a PUR 5, které mají pozvolnou vzrůstající tendenci a jejich vývoj se v procesu stárnutí po 360 h. zastaví na hodnotě 3,17, čím vzorky neprojevují výraznou proměnu oproti ostatním.

Na obrázku 37 jsou v grafu shrnuty hodnoty součinitele stárnutí pro SAG faktor vždy k jedné z pěti testovaných pěn. Graf přehledně podává informace o chování faktoru komfortu vybraných pěn v závislosti na simulovaném stárnutí v několika cyklech. Z tohoto grafu je zřejmé, že největšími změnami prošel vzorek PUR 3, jeden z nejměkčích pěn, který po pěti cyklech stárnutí dosáhl -66,84 %. Tato záporná hodnota značí, že zestárlé pěny dosahují lepších vlastností oproti pěnám novým. Vzorky PUR 4 a PUR 5 sice dosahují menších změn než předešlý vzorek, zato kopírují jeho plynule klesající křivku. Zkušební těleso PUR 4 je druhou nejtvrďší pěnou zkoušeného výběru, a přesto dosahuje nejnižšího příbytku SAG faktoru, tj. -3,31 %. Zajímavé chování předvedly vzorky PUR 1, 2, u kterých se při třetím cyklu stárnutí (216 h.) rapidně zhoršil SAG faktor až o 20 %. Po následujícím cyklu došlo opět k velkému propadu, tedy ke zlepšení SAG faktoru o přibližně 30 %.

SAG faktor je nepředvídatelná hodnota popisující individuální pocit pohodlí při ležení na standardizované matraci. Definice SAG faktoru udává, že vyšší hodnota SAG dává lepší oporu pro tělo ležící na matraci, pěna je vnímána jako měkčí a vláčnější na povrchu a tím se pro uživatele stává komfortnější. [26] Z provedené zkoušky je patrné,

že SAG faktor se vlivem simulace stárnutí zlepšuje. Z toho vyplývá, že starší pěny budou komfortnější. Od pěnových matrací je požadováno, aby dokázali co největší plochu těla podepřít rovnoměrně s co největším tlakem. Prozatím není dána mez, která by ohraničila hodnoty SAG faktoru na stále uživatelsky vyhovující „vláčnost a měkkost“ pěny. Nyní jsou dohledatelné pouze doporučené hodnoty u nových pěn.

5.4 Metoda urychleného tepelného stárnutí

Zvolená metoda A, podložena normativními předpisy ČSN EN ISO 2440 pro měkké lehčené materiály, je jednou z nejpoužívanějších zkoušek zrychleného tepelného stárnutí. Metoda spočívá v umístění zkušebních těles, u kterých byly předem naměřeny tři vybrané vlastnosti, do klimatické komory, kde se vystaví účinkům cirkulujícího vzduchu o teplotě $80\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a relativní vlhkosti 50 %. Zkušební tělesa se v komoře ponechají 72 hodin. Po vyložení bylo nutné nechat vzorky minimálně 6 hod. odležet v normálním prostředí a poté bylo ihned zahájeno měření vybraných vlastností.

Všechny vzorky PUR pěn byly testované společně ve stejných podmínkách. Největší otázkou při stárnutí dle této metody je migrace příměsí. To způsobuje proudící vzduch o vysokých teplotách, díky kterému unikají těkavé látky a tím mohou vzniknout nepřesné výsledky měření. Řešením je tzv. zkumavková metoda měření, která ovšem nebyla vhodnou volbou pro testované vzorky.

Touto simulací stárnutí lze porovnat vybrané fyzikální vlastnosti testovaných těles, které jsou vystavované bez dynamického zatížení účinkům proudícího vzduchu po danou dobu a teplotu. Výsledkem zkoušky je považována změna fyzikálních vlastností PUR pěny metodou stárnutím za tepla. Součinitel stárnutí S je vyjádřen jako změna hodnot naměřené vlastnosti v procentech a vypočten dle vzorce (9).

Souhrnné hodnoty součinitele stárnutí pro každou vybranou vlastnost pěn jsou uvedeny v tabulkách, které jsou obsahem přílohy č. 4 diplomové práce. Údaje byly získány pomocí výpočtů ze vzorců uvedených v kapitole 3. Normy. Tabulky obsahují průměrné hodnoty měřených vlastností spolu s jejich součinitelem stárnutí S vyjádřeným procentuálně. Tyto údaje jsou zdrojem pro již prezentované spojnicové grafy jednotlivých vlastností.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo zjistit účinky stárnutí na vybrané vlastnosti polyuretanových pěn používaných na matrace. Experiment byl proveden na nových vzorcích měkkých lehčených pěn, které jsou běžně řazeny do prodejního sortimentu společnosti, která poskytla tyto testovací pěny.

Hodnoceny byly tři vybrané užitné vlastnosti, které jsou stěžejní v oblasti životnosti matrace. Používané metody měření zvolených vlastností jsou podloženy platnými normativními předpisy vhodné pro tento druh materiálu, kterým je blíže věnována samostatná kapitola. Snahou práce bylo testovat zkušební tělesa pomocí takových metod, které budou co nejvíce napodobovat zatěžování matrace lidským tělem a zároveň budou simulovat její stárnutí.

U testování objemové hmotnosti nebyl zjištěn příliš velký vliv simulace stárnutí na zhoršení této vlastnosti. Zhoršení objemové hmotnosti v procesu stárnutí se v průměru pohybuje od 0,57 % do 1,1 %. Nejmenších procentuálních změn dosahuje nejměkčí testovaný vzorek. Avšak druhý nejměkčí zkoušený vzorek dosáhl nejvyšších změn.

Při hodnocení tvrdosti pěnových vzorků byl prokázán viditelnější vliv umělého stárnutí za tepla, i když s velkými výkyvy hodnot. Odpor proti stlačení při 40 % se prokazatelně horší v rozmezí 12,54 % až 29,04 %. Nejvyššího zhoršení hodnoty CV_{40} dosáhlo nejtvrďší testované těleso, naopak nejnižší úbytek tvrdosti zaznamenal druhý nejtvrďší testovaný vzorek. Jednou z možných důvodů větších výkyvů hodnot této vlastnosti může být zborcení struktury zkoušených pěn.

U zkoušky pro vyhodnocení SAG faktoru došlo oproti ostatním vlastnostem k opačnému efektu vlivem urychleného stárnutí za tepla. Tento vývoj se před samotným testováním neočekával. Nejlepších výsledků, tedy největšího zlepšení SAG faktoru dosáhl nejměkčí vzorek PUR 3 (-66,84 %). Zatímco jeden z nejtvrďších testovaných těles dosáhl nejmenšího zlepšení (-3,31 %).

Velká pozornost byla věnována zkoušce urychleným stárnutím za tepla, jejíž podstatou je sledovat změny vlastností před a po simulaci stárnutí. Ta probíhá podle předepsaných podmínek v předeřtáté klimatizační skříni po určitou dobu. Vzorky bylo zapotřebí podrobit sérií zkoušek zkoumající vybrané vlastnosti a následně po provedené zkoušce stárnutí vyhodnotit rozdílnost vlastností vlivem stárnutí. Vlivem této metody

může dojít k nepřesným výsledkům měření, jelikož vlivem proudícího vzduchu o vysoké teplotě dochází k migraci příměsi testovaného pěnového materiálu.

Hlubší hodnocení provedených zkoušek a dosažených výsledků vybraných vlastností pěn jsou v dílčích závěrech každé kapitoly. Stárnutí pěn je ovlivněno mnoha faktory, které v laboratorních podmínkách nelze stoprocentně obsáhnout, proto výsledky všech těchto zkoušek nebudou nikdy úplné, ale stávají se součástí jednoho z mnoha dalších dílů objasňující proces stárnutí. Celou problematiku také ztěžují výrobci, kteří používají vlastní receptury s různými směšovacími poměry, čímž docílí rozmanitosti druhů a vlastností měkkých pěn. Z tohoto důvodu není možné výsledky diplomové práce zobecňovat na jakoukoli měkkou PUR pěnu.

Jednou z vedlejších ambicí této práce bylo zjistit, k jakým změnám dochází v procesu stárnutí při testování SAG faktoru. Touto problematikou se podrobněji zabývá kapitola 5.4. Z vyhodnocení výsledků SAG faktoru vyplynulo, že se tato vlastnost vlivem simulovaného stárnutí za tepla zlepšuje. Její hodnoty se zvyšují a udávají komfortnost pěny dle definice SAG faktoru, tj. *„čím vyšší hodnota SAG, tím vláčnější a pohodlnější pěna je“*. Pro uživatele pěnových matrací by toto zjištění znamenalo, že dle SAG faktoru budou zestárlé pěny pocitově vláčnější, měkčí a komfortnější. Ovšem tento jev nemá hranici určující mez, kdy začínají být pěny nekomfortní a funkčně nepříjemné.

Výsledným zjištěním této oblasti práce je, že SAG faktor, jako komfortní ukazatel pěnových materiálů, nelze používat na zestárlých pěnách. Tento výsledek lze považovat za přínos předložené diplomové práce.

Dosažené poznatky o rychlosti stárnutí pěn a vývoji jejich vlastností mohou být přínosem nejen pro výrobce, ale zejména pro prodejce pěnových matrací, neboť se ukazuje, že aktuálně publikovaná fakta nejsou podložena žádným výzkumem či normou. Odborná publikace, popř. výzkumná práce zabývající se ucelenou problematikou stárnutí měkkých PUR pěn nebyla doposud vydána. Nalezené zahraniční i tuzemské odborné články se převážně zabývají jedinou myšlenkou a pojem stárnutí je často opomíjen. Další výzkum této problematiky má bezpochyby v blízké budoucnosti značnou perspektivu.

Seznam citací

- [1] HAEX, B. *Back and Bed: Ergonomie Aspects of Sleeping*. [online] CRC Press, 2005, 280 s. ISBN 0203022300. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=CNLAontRAM4C&pg=PA239&lr=l&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [2] SOCHOROVÁ, M. *Sorpce vlhkosti z lidského těla do matrace*. Brno, 2013. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta.
- [3] HASTÍKOVÁ, L. *Výběr vhodné matrace a lůžka pro zdravou populaci a seniory*. Praha, 2009. Bakalářská práce. Karlova univerzita v Praze. 1. lékařská fakulta.
- [4] HOLLÁ, J. *Údržba textilního výrobku a jeho životnost*. Liberec, 2011 Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [5] Kol. autorů. Jak dobře vybrat textilní výrobek. [online]. 2003 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.sotex.cz/index.php?docid=42>
- [6] GEMBALOVÁ, A. *FAVI online s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <https://favi.cz/clanky/matrace-z-pur-peny-zakladem-je-polyuretan>
- [7] BULISOVÁ, J. *Ottova všeobecná encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Ottovo nakladatelství, 2003. 751 s. ISBN 80-7181-947-6.
- [8] ČSN EN 12280-3. Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Urychlení zkoušky stárnutí - Část 1: Stárnutí za tepla. 7s
- [9] ROZMAJZL, P. *Makromolekulární látky*. [online]. 2003, [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://chemie.gfxs.cz/data/plasty/plasty.pdf>
- [10] STANĚK, J. *Textilní zbožíznalství: vláknenné suroviny, příze, nitě*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita, 2006. 114. s. ISBN 80-7372-147-3.
- [11] BRESEE, R. *General effects of ageing on textiles* [online]. c1986, [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: http://aic.stanford.edu/jaic/articles/jaic25-01-004_idx.html
- [12] OKOROAFOR, O., FRISCH, K., LANDROCK, A., ASHIDA, K., IWASAKI, K. *Handbook of plastics foam*. [online]. 1995, [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=RM8Qm6a5QGgC&dq=Handbook+of+plastics+foam&hl=cs&source=gbs_navlinks_s

- [13] *Closed- and Open-Cell Spray Polyurethane (PU) Foam. Polyurethanes: sustainable solutions for low energy buildings* [online]. Brussels: PU Europe, 2014 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: http://highperformanceinsulation.eu/wp-content/uploads/2016/08/Factsheet_22_Differences_between_closed-cell_and_open-cell_spray_polyurethane_PU_foam.pdf
- [14] SZYCHER, M. *Szycher's Handbook of Polyurethanes, Second Edition*. [online] CRC Press, 2012, 1144 s. ISBN 1439839581. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=Ca_MBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [15] ŠTREJTOVÁ, L. *Změna vybraných mechanicko-fyzikálních vlastností měkkých polyuretanových pěn v závislosti na technologické úpravě*. Brno, 2013. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta.
- [16] JANČOVÁ, V. *Polyuretanové pěny v konstrukci čalouněného nábytku*. Brno, 2008. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta.
- [17] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0
- [18] LUH, P. *Vliv stlačení na tažnost polyuretanové pěny pro odhlučnění*. Liberec, 2016. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [19] Purtex: Důležité pojmy. [online]. 2015, [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://matrace.purtex.cz/informace>
- [20] Moliten: Katalog produktů [online]. 2012, [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://moliten.cz/molitan/>
- [20] ČSN EN ISO 291. *Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení*. Praha: Státní normalizační institut, 2009, 12 s.
- [21] ČSN EN ISO 1923. *Lehčené plasty a pryž - Stanovení lineárních rozměrů*. Praha: Státní normalizační institut, 1996.
- [22] ČSN EN ISO 845. *Lehčené plasty a pryže - Stanovení objemové hmotnosti*. Praha: Státní normalizační institut, 2010, 8 s

[23] ČSN EN ISO 3386-1. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení odporu proti stlačení - Část 1: Nízkohustotní materiály. Praha: Státní normalizační institut, 1999, 7 s

[24] ČSN EN ISO 2439. ČSN EN ISO 2439. (64 5440) Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení tvrdosti vtlačováním, 2009, 1 - 6 s

[25] ČSN EN ISO 2440 Měkké lehčené materiály – Zkouška urychleným stárnutím, 2000, 2 s

[26] SVOBODA, Roman. Sklopné postele Svoboda. *Ke stažení: Studené PUR pěny – moderní materiál pro čalounění.* [online]. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.sklopne-postele.eu/ke-stazeni/duren-technologie-materialy.pdf>

Seznam použitých norem

ČSN EN ISO 291 Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení

ČSN 64 5401 Zkoušení lehčených hmot. Všeobecné zkušební podmínky pro zkoušení lehčených hmot.

ČSN EN ISO 1923. Lehčené plasty a pryž - Stanovení lineárních rozměrů.

ČSN EN ISO 845. Lehčené plasty a pryže - Stanovení objemové hmotnosti

ČSN EN ISO 3386-1. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení odporu proti stlačení - Část 1: Nízkohustotní materiály.

ČSN EN ISO 3386-2. Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odporu proti stlačení – část 2. Vysokohustotní materiály

ČSN EN ISO 2439. ČSN EN ISO 2439. (64 5440) Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení tvrdosti vtlačováním.

ČSN EN ISO 139 Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení

ČSN EN ISO 3385. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení únavy při konstantním zatížení.

ČSN EN ISO 1856. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení trvalé deformace v tlaku.

ČSN EN ISO 8307 (64 5438). Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odrazové pružnosti z odskoku kuličky.

ČSN EN 12280-3. Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Urychlení zkoušky stárnutí - Část 1: Stárnutí za tepla.

ČSN EN ISO 2440 Měkké lehčené materiály – Zkouška urychleným stárnutím.

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma výroby pěn na bázi reaktoplastů	16
Obr. 2: Otevřená struktura pěny [13] Obr. 3: Uzavřená struktura pěny [13].....	17
Obr. 4: Chemická struktura polyuretanu [15]	20
Obr. 5: Laboratorní znázornění výroby PUR pěny - pěnění směsi polyolu a izokyanátu dle [16].....	21
Obr. 6: Zařízení na vypěňování PUR pěny kontinuální technologií dle [16]	22
Obr. 7: Tvar jedné buňky ve struktuře PUR pěny [16].....	23
Obr. 8: Schéma značení PUR pěny [15].....	25
Obr. 9: Princip 3D profilovací technologie PUR pěn [16]	27
Obr. 10: Ukázka vzorků pěn upravovaných profilovací technologií	28
Obr. 11: Vizualizace odporu proti stlačení [2]	32
Obr. 12: Vizualizace SAG faktoru [2]	32
Obr. 13: Vzorové grafické vyjádření naměřených hodnot podle metody B [24]	38
Obr. 14: Digitální posuvné měřítko	41
Obr. 15: Digitální tloušťkoměr [18].....	41
Obr. 16: TIRA test 2300	42
Obr. 17: Klimatická komora Vötsch VC 0018.....	43
Obr. 18: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 1 (N 3050)	47
Obr. 19: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 2 (N 2530)	47
Obr. 20: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 3 (N 2516)	48
Obr. 21: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 4 (N 2545)	48
Obr. 22: Graf – znázornění objemové hmotnosti pro pěny PUR 5 (HR 4037).....	49
Obr. 23: Graf – znázornění objemové hmotnosti všech testovaných druhů pěn	49
Obr. 24: Graf – objemová hmotnost všech testovaných druhů pěn.....	50
Obr. 25: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 1 (N 3050) ..	54
Obr. 26: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 2 (N 2530) ..	54
Obr. 27: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 3 (N 2516) ..	55
Obr. 28: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 4 (N 2545) ..	55
Obr. 29: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % pro pěny PUR 5 (HR 4037) ..	56
Obr. 30: Graf – znázornění odporu proti stlačení při 40 % všech testovaných druhů pěn	56
Obr. 31: Graf – odpor proti stlačení při 40 % všech testovaných druhů pěn	57
Obr. 32: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 1 (N 3050).....	61
Obr. 33: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 2 (N 2530).....	61

Obr. 34: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 3 (N 2516).....	62
Obr. 35: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 4 (N 2545).....	62
Obr. 36: Graf – znázornění SAG faktoru pěny PUR 5 (HR 4037)	63
Obr. 37: Graf – znázornění SAG faktoru všech testovaných druhů pěn.....	64
Obr. 38: Graf – SAG faktor všech testovaných druhů pěn	65

Seznam tabulek

Tab. 1: Typy pěn a jejich označení pro testaci.....	44
Tab. 2: Porovnání naměřené OH nových vzorků s označením výrobce.....	50
Tab. 3: Vyhodnocení průměrných hodnot OH v procesu stárnutí.....	51
Tab. 4: Porovnání naměřené CV40 nových vzorků s označením výrobce	58
Tab. 5: Vyhodnocení průměrných hodnot CV40 v procesu stárnutí	58
Tab. 6: Vyhodnocení průměrných hodnot CV40 v procesu stárnutí	65

Seznam příloh

Příloha 1: Výsledky objemové hmotnosti

Příloha 2: Výsledky odporu proti stlačení

Příloha 3: Výsledky SAG faktoru

Příloha 4: Výsledky součinitele stárnutí

Výsledky objemové hmotnosti

Naměřené hodnoty a výpočet OH nových vzorků

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,71	88,98	164,55	16,77	596061,94	28,135	28,065
	40,84	89,00	164,81	16,77	599044,80	27,995	
	40,88	89,03	164,68	16,80	599360,50	28,030	
	41,00	88,99	165,03	16,91	602126,81	28,084	
	40,94	89,09	164,62	16,86	600425,87	28,080	
PUR 1-B	40,38	89,79	164,07	16,66	594871,91	28,006	27,962
	40,33	89,56	164,78	16,60	595177,91	27,891	
	40,41	89,33	165,08	16,61	595909,96	27,873	
	40,24	89,69	164,80	16,66	594783,90	28,010	
	40,29	89,48	164,87	16,66	594380,95	28,029	
PUR 1-C	41,13	89,71	164,48	16,48	606893,75	27,155	27,269
	41,02	89,63	165,02	16,50	606716,26	27,196	
	40,93	89,67	164,77	16,52	604737,72	27,318	
	40,83	89,75	164,89	16,57	604238,17	27,423	
	41,04	89,73	164,99	16,56	607578,84	27,256	
PUR 2-A	41,49	89,01	164,91	16,25	609016,74	26,682	26,738
	41,57	89,11	164,31	16,20	608653,98	26,616	
	41,46	88,98	164,23	16,21	605862,67	26,755	
	41,46	88,91	164,23	16,37	605386,04	27,041	
	41,63	89,01	164,48	16,21	609478,39	26,597	
PUR 2-B	42,33	89,48	163,88	16,56	620726,37	26,678	26,772
	41,98	89,39	164,66	16,44	617901,83	26,606	
	42,37	89,33	163,93	16,66	620460,64	26,851	
	42,32	88,97	163,97	16,57	617381,55	26,839	
	41,96	89,43	164,24	16,57	616307,78	26,886	
PUR 2-C	41,66	88,91	164,84	16,22	610565,81	26,566	26,604
	41,63	88,95	164,85	16,15	610437,65	26,456	
	41,87	88,97	165,13	16,39	615137,97	26,644	
	41,56	89,16	164,94	16,32	611183,45	26,702	
	41,48	89,20	164,99	16,27	610465,64	26,652	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 3-A	41,86	89,89	164,89	16,88	620447,33	27,206	27,261
	41,83	89,59	165,35	16,75	619657,34	27,031	
	41,89	90,23	164,64	17,10	622295,52	27,479	
	41,84	90,19	164,53	16,99	620862,12	27,365	
	41,79	89,88	164,59	16,83	618214,06	27,224	
PUR 3-B	42,17	90,00	165,07	17,11	626490,17	27,311	27,475
	41,86	89,97	164,88	17,10	620961,86	27,538	
	41,87	89,85	164,83	17,09	620093,67	27,560	
	41,91	89,84	164,80	17,05	620504,04	27,478	
	42,00	89,90	164,85	17,11	622440,63	27,489	
PUR 3-C	41,88	89,96	164,86	17,07	621114,14	27,483	27,261
	41,89	90,08	164,90	16,89	622242,10	27,144	
	42,08	90,12	165,12	16,99	626176,25	27,133	
	42,15	89,77	165,04	16,93	624479,26	27,111	
	41,83	89,89	164,99	17,02	620378,68	27,435	
PUR 4-A	50,00	89,23	164,78	16,55	735165,97	22,512	22,587
	49,81	89,57	164,60	16,53	734359,89	22,509	
	50,06	89,23	164,46	16,56	734618,78	22,542	
	49,69	88,67	164,68	16,53	725582,11	22,782	
	49,77	89,27	164,79	16,54	732156,68	22,591	
PUR 4-B	49,62	88,99	163,99	16,56	724127,99	22,869	22,840
	48,91	89,14	164,77	16,55	718370,41	23,038	
	49,61	89,10	164,69	16,58	727971,14	22,776	
	49,66	89,12	164,54	16,51	728204,55	22,672	
	49,56	89,14	163,98	16,55	724427,30	22,846	
PUR 4-C	49,86	89,31	164,20	16,52	731182,04	22,594	22,592
	49,93	89,85	164,33	16,50	737218,97	22,381	
	49,83	88,82	164,34	16,50	727352,50	22,685	
	49,84	88,89	164,34	16,51	728071,82	22,676	
	49,86	89,36	164,57	16,59	733239,92	22,626	
PUR 5-A	47,39	89,98	164,50	25,64	701453,04	36,553	36,681
	47,45	90,01	164,57	25,64	702874,27	36,479	
	46,98	89,93	164,88	25,65	696603,39	36,822	
	47,39	89,82	164,56	25,72	700461,13	36,719	
	47,08	89,88	164,83	25,69	697486,45	36,832	
PUR 5-B	46,44	90,53	164,78	25,53	692770,25	36,852	36,707
	47,06	89,97	165,04	25,62	698777,41	36,664	
	47,23	90,09	164,89	25,58	701598,82	36,460	
	46,86	90,18	164,98	25,61	697178,23	36,734	
	46,79	89,96	165,10	25,59	694943,61	36,823	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 5-C	46,92	90,53	164,21	25,73	697509,50	36,888	36,949
	46,94	89,67	163,96	25,63	690125,64	37,138	
	46,99	90,50	163,99	25,67	697383,05	36,809	
	47,00	89,77	164,39	25,68	693592,64	37,025	
	47,03	89,83	164,35	25,61	694330,25	36,884	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,765	26,705	27,332	22,673	36,779
rozptyl	0,373	0,148	0,177	0,168	0,187
směr. odchylka	0,611	0,384	0,421	0,410	0,432
var.koef	2,200	1,439	1,540	1,807	1,175
95% IS	0,309	0,195	0,213	0,207	0,219
DM	27,456	26,510	27,119	22,466	36,560
HM	28,074	26,899	27,545	22,881	36,997

Naměřené hodnoty a výpočet OH zestárých vzorků po 72 h. (3 dny)

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,68	88,88	164,50	16,70	594772,52	28,078	28,004
	40,66	88,89	164,55	16,69	594727,70	28,063	
	40,78	89,00	164,58	16,69	597329,94	27,941	
	40,69	88,89	164,63	16,71	595455,86	28,063	
	40,74	89,01	165,00	16,68	598334,12	27,877	
PUR 1-B	40,28	89,60	164,19	16,50	592576,16	27,845	27,910
	40,23	89,59	164,28	16,57	592098,91	27,985	
	40,31	89,53	164,18	16,55	592518,12	27,932	
	40,34	89,49	164,28	16,56	593055,17	27,923	
	40,28	89,55	164,27	16,51	592534,05	27,863	
PUR 1-C	41,00	89,70	164,58	16,45	605275,87	27,178	27,190
	40,92	89,71	164,72	16,44	604676,12	27,188	
	40,89	89,69	164,87	16,46	604648,21	27,222	
	40,93	89,70	164,81	16,45	605086,90	27,186	
	40,95	89,68	164,83	16,45	605321,03	27,176	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 2-A	41,40	89,07	164,40	16,15	606224,67	26,640	26,650
	41,47	89,02	164,41	16,16	606945,72	26,625	
	41,56	88,97	164,27	16,17	607403,63	26,622	
	41,44	88,89	164,21	16,17	604884,22	26,732	
	41,51	89,01	164,43	16,18	607536,80	26,632	
PUR 2-B	42,13	89,32	164,28	16,49	618194,12	26,674	26,699
	42,00	89,29	164,26	16,50	616004,57	26,786	
	42,17	89,34	163,99	16,47	617827,04	26,658	
	42,10	89,34	163,98	16,40	616763,87	26,590	
	42,06	88,98	163,98	16,44	613694,95	26,789	
PUR 2-C	41,53	88,95	164,80	16,22	608786,61	26,643	26,544
	41,68	88,89	164,86	16,20	610795,62	26,523	
	41,67	88,97	165,01	16,21	611754,76	26,498	
	41,57	89,09	164,90	16,21	610702,42	26,543	
	41,59	89,04	165,00	16,20	611023,64	26,513	
PUR 3-A	41,80	89,80	164,60	16,86	617849,14	27,288	27,227
	41,84	89,81	165,58	16,86	622191,75	27,098	
	41,88	90,01	164,54	16,89	620253,08	27,231	
	41,82	90,03	164,55	16,88	619539,73	27,246	
	41,82	90,00	164,53	16,89	619258,01	27,275	
PUR 3-B	42,00	89,93	164,89	17,05	622799,42	27,376	27,444
	41,87	89,90	164,83	17,06	620438,75	27,497	
	41,91	89,89	164,85	17,06	621037,74	27,470	
	41,90	89,87	164,84	17,04	620713,76	27,452	
	41,97	89,88	164,81	17,05	621706,76	27,425	
PUR 3-C	41,90	89,94	164,90	16,93	621423,34	27,244	27,237
	41,88	90,00	164,86	16,94	621390,31	27,261	
	41,88	89,92	165,07	16,91	621628,79	27,203	
	42,05	89,83	164,93	16,90	622998,58	27,127	
	41,89	89,90	164,94	16,99	621149,36	27,353	
PUR 4-A	49,87	89,26	164,65	16,49	732922,38	22,499	22,546
	49,82	89,48	164,71	16,51	734259,65	22,485	
	49,89	89,38	164,66	16,48	734246,64	22,445	
	49,81	88,29	164,67	16,47	724173,36	22,743	
	49,71	89,30	164,59	16,48	730631,96	22,556	
PUR 4-B	49,60	89,08	164,44	16,52	726556,43	22,737	22,800
	49,61	89,12	164,47	16,51	727161,87	22,705	
	48,98	89,11	164,36	16,54	717366,94	23,057	
	49,57	89,09	164,44	16,50	726198,50	22,721	
	49,58	89,07	164,10	16,51	724680,47	22,782	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 4-C	49,79	89,60	164,28	16,46	732883,31	22,459	22,554
	49,87	89,71	164,31	16,43	735096,27	22,351	
	49,90	88,62	164,35	16,51	726778,38	22,717	
	49,84	88,68	164,33	16,51	726307,57	22,731	
	49,79	89,58	164,34	16,50	732987,33	22,511	
PUR 5-A	47,27	89,95	164,64	25,58	700038,83	36,541	36,608
	47,39	89,84	164,56	25,57	700617,10	36,496	
	47,19	89,95	164,58	25,58	698599,39	36,616	
	47,21	89,90	164,59	25,62	698549,42	36,676	
	47,18	89,85	164,57	25,61	697632,47	36,710	
PUR 5-B	46,76	90,41	164,93	25,49	697253,38	36,558	36,646
	46,79	90,03	165,00	25,55	695063,11	36,759	
	47,01	90,09	164,93	25,57	698500,14	36,607	
	46,88	89,98	164,99	25,51	695971,11	36,654	
	46,81	90,10	164,97	25,50	695774,34	36,650	
PUR 5-C	46,93	90,13	164,20	25,61	694533,31	36,874	36,879
	46,96	89,95	164,04	25,62	692913,49	36,974	
	46,98	89,98	163,98	25,58	693186,16	36,902	
	47,01	90,07	164,31	25,58	695719,87	36,768	
	46,94	89,91	164,29	25,57	693365,47	36,878	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,701	26,631	27,303	22,633	36,711
rozptyl	0,381	0,091	0,122	0,181	0,145
směr. odchylka	0,617	0,301	0,349	0,426	0,380
var.koef	2,228	1,130	1,279	1,881	1,035
95% IS	0,312	0,152	0,177	0,215	0,192
DM	27,389	26,479	27,126	22,418	36,518
HM	28,014	26,783	27,480	22,849	36,903

Naměřené hodnoty a výpočet OH zestárých vzorků po 144 h. (6 dnů)

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,69	88,89	164,51	16,70	595021,83	28,066	28,017
	40,69	88,85	164,69	16,71	595404,83	28,065	
	40,72	88,99	164,64	16,68	596601,49	27,958	
	40,70	88,87	164,58	16,70	595287,34	28,054	
	40,73	88,97	164,83	16,69	597302,40	27,942	
PUR 1-B	40,27	89,59	164,21	16,55	592435,08	27,936	27,898
	40,24	89,61	164,25	16,52	592270,13	27,893	
	40,29	89,51	164,20	16,51	592163,97	27,881	
	40,30	89,53	164,21	16,53	592479,37	27,900	
	40,29	89,52	164,27	16,52	592482,60	27,883	
PUR 1 -C	40,94	89,66	164,68	16,48	604487,65	27,263	27,212
	40,94	89,70	164,75	16,41	605014,39	27,123	
	40,89	89,71	164,80	16,44	604526,27	27,195	
	40,89	89,67	164,74	16,47	604036,72	27,267	
	40,93	89,69	164,77	16,46	604872,60	27,212	
PUR 2-A	41,38	89,06	164,34	16,13	605642,66	26,633	26,661
	41,48	89,05	164,39	16,18	607222,80	26,646	
	41,49	88,95	164,34	16,19	606502,60	26,694	
	41,50	88,90	164,31	16,17	606197,10	26,674	
	41,50	88,99	164,34	16,18	606921,59	26,659	
PUR 2-B	42,14	89,27	164,18	16,44	617618,53	26,618	26,713
	42,10	89,23	164,25	16,46	617018,76	26,677	
	42,03	89,21	164,07	16,47	615179,86	26,773	
	42,11	89,30	163,97	16,48	616596,56	26,727	
	42,04	89,25	163,96	16,47	615189,40	26,772	
PUR 2-C	41,53	88,94	164,83	16,20	608828,98	26,608	26,537
	41,60	88,98	164,82	16,20	610092,44	26,553	
	41,63	88,99	164,94	16,21	611045,58	26,528	
	41,59	89,00	164,98	16,18	610675,12	26,495	
	41,63	89,00	164,91	16,19	611003,09	26,497	
PUR 3-A	41,82	89,81	164,58	16,84	618138,48	27,243	27,205
	41,80	89,89	165,13	16,84	620459,79	27,141	
	41,85	89,96	164,74	16,84	620217,44	27,152	
	41,84	90,00	164,69	16,90	620156,66	27,251	
	41,81	89,93	164,63	16,86	619004,40	27,237	
PUR 3-B	41,93	89,86	164,91	17,02	621352,81	27,392	27,414
	41,90	89,88	164,80	17,01	620632,19	27,408	
	41,86	89,90	164,87	17,02	620441,09	27,432	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 3-B	41,96	89,86	164,81	17,03	621420,32	27,405	
	41,94	89,88	164,79	17,04	621186,98	27,431	
PUR 3-C	41,88	89,92	164,88	16,92	620913,28	27,250	27,201
	41,90	89,93	164,89	16,92	621316,57	27,232	
	41,85	89,90	164,99	16,90	620744,35	27,225	
	41,91	89,88	165,01	16,90	621571,35	27,189	
	42,00	89,97	164,88	16,89	623038,65	27,109	
PUR 4-A	49,81	89,28	164,66	16,48	732249,08	22,506	22,543
	49,80	89,38	164,71	16,48	733144,63	22,479	
	49,80	89,40	164,62	16,50	732907,99	22,513	
	49,90	88,28	164,68	16,47	725443,72	22,703	
	49,81	89,33	164,60	16,49	732392,19	22,515	
PUR 4-B	49,61	89,10	164,37	16,51	726556,66	22,724	22,792
	49,58	89,03	164,33	16,50	725374,68	22,747	
	48,99	89,01	164,33	16,52	716577,38	23,054	
	49,59	89,12	164,40	16,50	726559,36	22,710	
	49,59	89,14	164,36	16,51	726545,59	22,724	
PUR 4-C	49,80	89,54	164,35	16,47	732851,77	22,474	22,546
	49,85	89,70	164,28	16,48	734585,41	22,434	
	49,90	88,72	164,30	16,46	727377,13	22,629	
	49,84	88,58	164,29	16,48	725311,96	22,721	
	49,76	89,64	164,33	16,47	732991,73	22,470	
PUR 5-A	47,25	89,90	164,59	25,59	699141,29	36,602	36,608
	47,17	89,85	164,50	25,58	697187,93	36,690	
	47,27	89,85	164,61	25,57	699133,16	36,574	
	47,31	89,89	164,63	25,58	700121,33	36,537	
	47,18	89,93	164,55	25,58	698168,77	36,639	
PUR 5-B	46,85	90,11	164,96	25,50	696403,96	36,617	36,647
	46,75	90,06	165,00	25,51	694700,33	36,721	
	46,93	90,12	164,87	25,53	697289,90	36,613	
	46,90	89,98	164,96	25,52	696141,43	36,659	
	46,79	90,18	164,94	25,49	695967,99	36,625	
PUR 5-C	46,96	90,01	164,16	25,58	693882,91	36,865	36,882
	46,90	89,94	164,00	25,57	691782,50	36,962	
	46,94	89,99	164,10	25,56	693179,83	36,874	
	46,95	90,00	164,21	25,58	693869,36	36,866	
	46,98	89,99	164,29	25,59	694573,79	36,843	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,709	26,637	27,273	22,627	36,712
rozptyl	0,370	0,089	0,111	0,166	0,134
směr. odchylka	0,609	0,299	0,333	0,407	0,366
var.koef	2,196	1,121	1,223	1,799	0,996
95% IS	0,308	0,151	0,169	0,206	0,185
DM	27,401	26,486	27,104	22,421	36,527
HM	28,017	26,788	27,442	22,833	36,897

Naměřené hodnoty a výpočet OH zestárých vzorků po 216 h. (9 dnů)

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,65	88,84	164,48	16,61	593994,19	27,963	27,808
	40,70	88,89	164,66	16,57	595710,74	27,816	
	40,75	88,93	164,69	16,57	596819,68	27,764	
	40,68	88,97	164,54	16,51	595519,56	27,724	
	40,67	88,91	164,89	16,56	596237,24	27,774	
PUR 1-B	40,25	89,61	164,26	16,39	592453,38	27,665	27,663
	40,29	89,57	164,21	16,37	592596,99	27,624	
	40,24	89,54	164,18	16,39	591555,25	27,707	
	40,24	89,51	164,24	16,38	591573,17	27,689	
	40,31	89,51	164,20	16,37	592457,92	27,631	
PUR 1 -C	40,92	89,67	164,75	16,32	604516,58	26,997	27,018
	40,90	89,69	164,70	16,32	604172,47	27,012	
	40,91	89,73	164,71	16,32	604626,41	26,992	
	40,87	89,70	164,72	16,31	603869,94	27,009	
	40,89	89,68	164,76	16,36	604177,42	27,078	
PUR 2-A	41,49	88,96	164,33	16,05	606533,88	26,462	26,475
	41,47	89,01	164,40	16,06	606840,63	26,465	
	41,39	88,98	164,33	16,05	605208,03	26,520	
	41,49	88,97	164,34	16,05	606638,97	26,457	
	41,51	88,99	164,34	16,07	607067,84	26,472	
PUR 2-B	42,08	89,25	164,09	16,34	616262,97	26,515	26,528
	42,11	89,21	164,15	16,34	616651,32	26,498	
	42,01	89,23	164,07	16,35	615024,98	26,584	
	42,12	89,28	163,99	16,36	616680,07	26,529	
	42,07	89,27	164,09	16,34	616254,58	26,515	
PUR 2-C	41,60	88,98	164,90	16,11	610388,56	26,393	26,383
	41,58	88,92	164,91	16,10	609720,69	26,406	
	41,58	88,97	164,89	16,09	609989,55	26,378	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 2-C	41,56	88,99	164,89	16,09	609833,20	26,384	
	41,61	89,02	164,91	16,10	610846,79	26,357	
PUR 3-A	41,82	89,92	164,74	16,80	619497,26	27,119	27,124
	41,79	89,89	165,02	16,81	619898,14	27,117	
	41,84	89,88	164,66	16,80	619216,97	27,131	
	41,82	89,91	164,70	16,79	619277,96	27,112	
	41,79	90,01	164,65	16,81	619333,92	27,142	
PUR 3-B	41,92	89,88	164,84	16,93	621079,14	27,259	27,304
	41,88	89,84	164,81	16,96	620097,49	27,351	
	41,85	89,90	164,89	16,96	620368,12	27,339	
	41,93	89,86	164,79	16,95	620900,67	27,299	
	41,96	89,89	164,88	16,96	621891,81	27,272	
PUR 3-C	41,91	89,92	164,93	16,87	621546,49	27,142	27,145
	41,89	89,90	164,91	16,86	621036,38	27,148	
	41,86	89,89	164,89	16,87	620447,33	27,190	
	41,90	89,89	164,94	16,86	621228,53	27,140	
	41,92	89,93	164,89	16,85	621613,14	27,107	
PUR 4-A	49,82	89,13	164,65	16,35	731121,18	22,363	22,379
	49,80	89,07	164,64	16,36	730291,34	22,402	
	49,78	89,10	164,71	16,37	730554,40	22,408	
	49,88	89,18	164,61	16,37	732234,40	22,356	
	49,80	89,11	164,61	16,34	730486,18	22,369	
PUR 4-B	49,47	89,08	164,36	16,40	724299,61	22,643	22,637
	49,51	89,01	164,31	16,38	724095,29	22,621	
	49,48	89,06	164,34	16,38	724195,24	22,618	
	49,42	89,10	164,34	16,39	723641,94	22,649	
	49,44	89,08	164,38	16,40	723948,46	22,654	
PUR 4-C	49,83	89,24	164,31	16,36	730658,51	22,391	22,403
	49,80	89,77	164,38	16,37	734868,35	22,276	
	49,89	88,91	164,28	16,36	728700,07	22,451	
	49,79	88,98	164,31	16,38	727944,93	22,502	
	49,86	89,24	164,29	16,37	731009,41	22,394	
PUR 5-A	47,24	89,88	164,58	25,44	698795,36	36,406	36,404
	47,11	89,84	164,49	25,44	696181,29	36,542	
	47,17	89,86	164,56	25,43	697519,85	36,458	
	47,35	89,86	164,63	25,42	700479,41	36,289	
	47,31	89,90	164,59	25,43	700029,09	36,327	
PUR 5-B	46,84	90,09	164,95	25,38	696058,58	36,462	36,456
	46,78	89,93	164,98	25,35	694058,55	36,524	
	46,94	90,03	164,84	25,38	696615,19	36,433	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 5-B	46,87	90,16	164,97	25,37	697130,09	36,392	
	46,81	90,20	164,89	25,39	696208,78	36,469	
PUR 5-C	46,95	89,99	164,15	25,43	693538,76	36,667	36,698
	46,91	89,96	164,10	25,43	692505,87	36,722	
	46,93	89,96	164,15	25,47	693012,21	36,753	
	46,94	90,03	164,19	25,45	693868,29	36,678	
	46,99	89,96	164,19	25,45	694067,32	36,668	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,496	26,462	27,191	22,473	36,519
rozptyl	0,360	0,067	0,087	0,129	0,147
směr. odchylka	0,600	0,258	0,296	0,360	0,383
var.koef	2,182	0,975	1,087	1,601	1,049
95% IS	0,304	0,131	0,150	0,182	0,194
DM	27,193	26,332	27,042	22,291	36,326
HM	27,800	26,593	27,341	22,655	36,713

Naměřené hodnoty a výpočet OH zestárých vzorků po 288 h. (12 dnů)

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,69	88,91	164,66	16,60	595698,37	27,866	27,876
	40,65	88,88	164,62	16,65	594767,45	27,994	
	40,69	88,90	164,67	16,59	595667,54	27,851	
	40,71	88,91	164,64	16,59	595918,78	27,839	
	40,70	88,90	164,67	16,58	595813,93	27,827	
PUR 1-B	40,27	89,55	164,22	16,34	592206,63	27,592	27,670
	40,24	89,60	164,25	16,38	592204,03	27,659	
	40,25	89,53	164,20	16,39	591708,25	27,699	
	40,26	89,52	164,21	16,40	591825,19	27,711	
	40,27	89,53	164,19	16,39	591966,21	27,687	
PUR 1-C	40,90	89,69	164,73	16,32	604282,52	27,007	27,023
	40,88	89,67	164,69	16,33	603705,71	27,050	
	40,90	89,70	164,70	16,33	604239,83	27,026	
	40,88	89,68	164,71	16,31	603846,36	27,010	
	40,90	89,70	164,73	16,33	604349,89	27,021	
PUR 2-A	41,47	88,98	164,35	16,07	606451,60	26,498	26,485
	41,45	88,98	164,38	16,05	606269,77	26,473	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 2-A	41,43	88,96	164,30	16,06	605546,18	26,522	
	41,46	88,99	164,33	16,05	606299,71	26,472	
	41,48	88,98	164,36	16,05	606634,75	26,457	
PUR 2-B	42,10	89,28	164,08	16,32	616725,53	26,462	26,510
	42,08	89,20	164,15	16,33	616150,44	26,503	
	42,03	89,21	164,08	16,35	615217,35	26,576	
	42,04	89,30	164,03	16,33	615796,83	26,518	
	42,08	89,28	164,10	16,33	616507,68	26,488	
PUR 2-C	41,59	88,98	164,91	16,08	610278,84	26,349	26,377
	41,55	89,02	164,89	16,11	609892,00	26,415	
	41,56	88,96	164,90	16,08	609664,59	26,375	
	41,58	88,98	164,88	16,10	610021,11	26,393	
	41,60	88,99	164,93	16,09	610568,22	26,353	
PUR 3-A	41,81	89,93	164,75	16,80	619455,60	27,121	27,133
	41,80	89,90	164,88	16,79	619593,12	27,098	
	41,79	89,98	164,76	16,81	619541,13	27,133	
	41,80	89,87	164,70	16,81	618706,42	27,170	
	41,79	89,90	164,66	16,79	618614,61	27,141	
PUR 3-B	41,91	89,87	164,83	16,96	620824,23	27,319	27,321
	41,90	89,89	164,85	16,95	620889,56	27,300	
	41,88	89,89	164,84	16,95	620555,54	27,314	
	41,88	89,84	164,78	16,96	619984,62	27,356	
	41,92	89,91	164,82	16,97	621211,06	27,318	
PUR 3-C	41,90	89,91	164,91	16,87	621253,73	27,155	27,143
	41,87	89,88	164,95	16,84	620752,31	27,128	
	41,88	89,85	164,90	16,85	620505,18	27,155	
	41,89	89,93	164,91	16,86	621243,63	27,139	
	41,94	89,90	164,89	16,87	621702,25	27,135	
PUR 4-A	49,80	89,12	164,64	16,36	730701,30	22,389	22,384
	49,82	89,10	164,66	16,37	730919,48	22,396	
	49,83	89,07	164,61	16,37	730598,13	22,406	
	49,78	89,14	164,73	16,35	730971,12	22,368	
	49,85	89,16	164,63	16,36	731718,78	22,358	
PUR 4-B	49,46	89,07	164,35	16,37	724027,85	22,610	22,606
	49,47	89,11	164,29	16,38	724234,96	22,617	
	49,50	89,03	164,35	16,36	724287,98	22,588	
	49,48	89,08	164,36	16,36	724446,02	22,583	
	49,43	89,10	164,34	16,38	723788,36	22,631	
PUR 4-C	49,80	89,23	164,33	16,36	730225,66	22,404	22,384
	49,83	89,34	164,31	16,35	731477,26	22,352	

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 4-C	49,87	88,97	164,32	16,34	729076,98	22,412	
	49,89	89,23	164,26	16,36	731233,73	22,373	
	49,79	89,27	164,28	16,34	730184,07	22,378	
PUR 5-A	47,21	89,87	164,57	25,46	698231,46	36,464	36,442
	47,24	89,84	164,58	25,45	698484,37	36,436	
	47,15	89,83	164,54	25,44	696906,62	36,504	
	47,25	89,87	164,57	25,46	698823,05	36,433	
	47,29	89,89	164,59	25,45	699655,32	36,375	
PUR 5-B	46,85	90,08	164,93	25,38	696045,50	36,463	36,491
	46,77	90,10	164,95	25,40	695095,51	36,542	
	46,80	90,09	164,90	25,39	695253,36	36,519	
	46,83	90,12	164,97	25,39	696226,12	36,468	
	46,87	90,15	164,87	25,40	696630,24	36,461	
PUR 5-C	46,94	89,98	164,16	25,48	693356,22	36,749	36,781
	46,90	89,93	164,14	25,49	692296,07	36,820	
	46,89	89,98	164,11	25,50	692406,71	36,828	
	46,92	89,94	164,20	25,51	692921,50	36,815	
	46,98	90,03	164,18	25,48	694417,27	36,693	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,523	26,457	27,199	22,458	36,571
rozptyl	0,379	0,067	0,092	0,110	0,161
směr. odchylka	0,616	0,259	0,303	0,332	0,401
var.koef	2,236	0,978	1,113	1,478	1,098
95% IS	0,312	0,131	0,153	0,168	0,203
DM	27,211	26,326	27,046	22,290	36,368
HM	27,834	26,588	27,352	22,626	36,774

Naměřené hodnoty a výpočet OH zestárých vzorků po 360 h. (15 dnů)

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-A	40,71	88,90	164,64	16,58	595851,75	27,826	27,810
	40,68	88,85	164,66	16,54	595150,07	27,791	
	40,72	88,89	164,62	16,55	595858,68	27,775	
	40,69	88,90	164,65	16,58	595595,20	27,838	
	40,68	88,92	164,65	16,57	595582,78	27,821	
PUR 1-B	40,25	89,54	164,23	16,32	591882,46	27,573	27,656

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 1-B	40,26	89,59	164,24	16,38	592396,17	27,650	
	40,27	89,56	164,22	16,42	592272,76	27,724	
	40,28	89,57	164,21	16,40	592449,91	27,682	
	40,26	89,55	164,20	16,37	591987,47	27,653	
PUR 1 -C	40,88	89,71	164,75	16,29	604195,06	26,961	26,975
	40,89	89,70	164,70	16,29	604092,10	26,966	
	40,89	89,68	164,68	16,30	603884,06	26,992	
	40,90	89,66	164,73	16,29	604080,39	26,967	
	40,91	89,67	164,73	16,31	604295,48	26,990	
PUR 2-A	41,45	89,03	164,38	16,05	606610,45	26,458	26,456
	41,47	88,95	164,40	16,04	606431,57	26,450	
	41,48	88,99	164,33	16,04	606592,18	26,443	
	41,44	89,00	164,34	16,04	606112,21	26,464	
	41,49	88,95	164,32	16,05	606428,79	26,466	
PUR 2-B	42,12	89,30	164,11	16,29	617269,57	26,390	26,453
	42,10	89,28	164,12	16,30	616875,87	26,423	
	42,07	89,31	164,05	16,32	616380,42	26,477	
	42,06	89,23	164,06	16,31	615719,44	26,489	
	42,08	89,25	164,09	16,32	616262,97	26,482	
PUR 2-C	41,55	88,99	164,89	16,05	609686,46	26,325	26,332
	41,58	89,00	164,90	16,09	610232,24	26,367	
	41,54	88,95	164,93	16,04	609413,55	26,320	
	41,60	88,94	164,87	16,06	610003,17	26,328	
	41,61	89,04	164,89	16,08	610921,05	26,321	
PUR 3-A	41,80	89,95	164,79	16,79	619595,57	27,098	27,100
	41,82	89,89	164,81	16,78	619553,72	27,084	
	41,77	89,97	164,80	16,79	619326,13	27,110	
	41,78	89,97	164,69	16,78	619060,92	27,106	
	41,81	89,94	164,76	16,79	619562,09	27,100	
PUR 3-B	41,95	89,88	164,85	16,96	621561,32	27,286	27,299
	41,93	89,90	164,86	16,95	621440,92	27,275	
	41,89	89,87	164,89	16,96	620753,85	27,322	
	41,93	89,89	164,85	16,95	621304,47	27,281	
	41,89	89,89	164,81	16,96	620597,66	27,328	
PUR 3-C	41,89	89,93	164,95	16,86	621394,31	27,133	27,135
	41,91	89,89	164,90	16,84	621207,27	27,109	
	41,85	89,84	164,89	16,83	619954,08	27,147	
	41,90	89,87	164,94	16,86	621090,31	27,146	
	41,89	89,92	164,91	16,86	621174,54	27,142	
PUR 4-A	49,89	89,10	164,67	16,33	731995,32	22,309	22,349

VZOREK	ROZMĚR (mm)			m (g)	V (mm ³)	OH (kg/m ³)	øOH (kg/m ³)
	a	b	c				
PUR 4-A	49,85	89,13	164,64	16,36	731517,01	22,364	
	49,81	89,09	164,63	16,34	730557,63	22,366	
	49,85	89,07	164,69	16,34	731279,41	22,344	
	49,84	89,11	164,64	16,35	731206,15	22,360	
PUR 4-B	49,44	89,12	164,34	16,37	724097,29	22,607	22,594
	49,49	89,08	164,30	16,37	724327,92	22,600	
	49,45	89,06	164,36	16,34	723844,23	22,574	
	49,51	89,04	164,37	16,36	724589,21	22,578	
	49,44	89,11	164,33	16,37	723971,99	22,611	
PUR 4-C	49,83	89,33	164,31	16,34	731395,39	22,341	22,349
	49,80	89,31	164,33	16,32	730880,35	22,329	
	49,87	88,99	164,35	16,33	729374,01	22,389	
	49,88	89,30	164,29	16,35	731794,32	22,342	
	49,84	89,24	164,34	16,33	730938,57	22,341	
PUR 5-A	47,25	89,89	164,56	25,45	698936,10	36,412	36,431
	47,21	89,81	164,57	25,43	697765,30	36,445	
	47,25	89,84	164,57	25,42	698589,78	36,388	
	47,19	89,85	164,54	25,45	697653,14	36,479	
	47,21	89,84	164,57	25,43	697998,38	36,433	
PUR 5-B	46,89	90,11	164,91	25,37	696787,28	36,410	36,477
	46,87	90,07	164,93	25,40	696265,34	36,480	
	46,78	90,04	164,93	25,38	694696,90	36,534	
	46,80	90,11	164,91	25,37	695449,88	36,480	
	46,82	90,14	164,97	25,40	696231,93	36,482	
PUR 5-C	46,90	89,99	164,22	25,48	693078,72	36,764	36,774
	46,93	89,98	164,11	25,47	692997,37	36,753	
	46,94	89,94	164,13	25,49	692921,34	36,786	
	46,88	89,99	164,17	25,50	692589,10	36,818	
	46,96	89,93	164,19	25,48	693392,89	36,747	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	27,481	26,414	27,178	22,431	36,561
rozptyl	0,377	0,065	0,091	0,121	0,161
směr. odchylka	0,614	0,255	0,302	0,349	0,401
var.koef	2,234	0,966	1,111	1,554	1,096
95% IS	0,311	0,129	0,153	0,176	0,203
DM	27,170	26,285	27,025	22,254	36,358
HM	27,791	26,543	27,331	22,607	36,764

Výsledky odporu proti stlačení

Naměřené hodnoty a výpočet CV_{40} nových vzorků

VZOREK	F ₇₀ (N)			F ₄₀ (N)	A (mm ²)	CV ₄₀ (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	216,094	212,030	207,250	62,050	14664,65	4,231
PUR 1-B	217,034	215,050	211,981	67,800	14753,97	4,595
PUR 1-C	200,904	193,082	190,049	65,570	14784,92	4,435
PUR 2-A	105,998	104,480	105,016	39,694	14635,11	2,712
PUR 2-B	97,892	95,301	93,456	39,860	14660,63	2,719
PUR 2-C	91,864	89,743	87,050	38,380	14686,82	2,613
PUR 3-A	69,971	67,037	65,873	29,460	14824,75	1,987
PUR 3-B	71,397	68,640	67,070	30,030	14825,23	2,026
PUR 3-C	72,514	69,757	67,987	29,083	14842,44	1,959
PUR 4-A	114,982	112,150	109,981	46,430	14686,86	3,161
PUR 4-B	115,540	112,110	109,129	49,560	14647,18	3,384
PUR 4-C	111,089	109,016	106,053	47,820	14668,12	3,260
PUR 5-A	139,360	135,035	133,502	60,484	14807,61	4,085
PUR 5-B	143,068	139,037	137,074	61,060	14870,30	4,106
PUR 5-C	138,848	135,520	133,950	59,960	14786,05	4,055

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	4,421	2,681	1,991	3,268	4,082
rozptyl	0,182	0,059	0,033	0,111	0,026
směr. odchylka	0,427	0,243	0,182	0,334	0,160
var.koef	9,664	9,071	9,155	10,210	3,920
95% IS	0,216	0,123	0,092	0,169	0,081
DM	4,204	2,558	1,899	3,099	4,001
HM	4,637	2,805	2,083	3,437	4,163

Naměřené hodnoty a výpočet CV_{40} zestárých vzorků po 72 h. (3 dny)

VZOREK	F_{70} (N)			F_{40} (N)	A (mm ²)	CV_{40} (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	215,240	209,830	207,100	60,320	14643,16	4,119
PUR 1-B	215,240	210,530	208,320	65,890	14708,02	4,480
PUR 1 -C	171,890	167,820	165,490	61,061	14778,49	4,132
PUR 2-A	109,940	107,380	106,160	39,170	14625,30	2,678
PUR 2-B	96,220	94,010	92,560	39,110	14646,40	2,670
PUR 2-C	86,640	84,430	83,500	37,830	14675,37	2,578
PUR 3-A	66,710	65,370	64,730	28,650	14816,87	1,934
PUR 3-B	68,970	67,400	66,700	27,400	14818,49	1,849
PUR 3-C	69,140	67,570	66,870	27,160	14831,07	1,831
PUR 4-A	104,820	102,500	100,810	44,340	14677,77	3,021
PUR 4-B	113,940	111,100	109,290	47,420	14643,67	3,238
PUR 4-C	108,890	106,160	104,530	45,910	14663,77	3,131
PUR 5-A	136,320	133,350	132,020	59,780	14796,13	4,040
PUR 5-B	140,680	137,370	135,740	61,010	14866,89	4,104
PUR 5-C	134,980	132,020	130,450	59,910	14776,07	4,055

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	4,244	2,642	1,871	3,130	4,066
rozptyl	0,205	0,056	0,055	0,109	0,033
směr. odchylka	0,452	0,236	0,234	0,330	0,183
var.koef	10,661	8,944	12,495	10,533	4,488
95% IS	0,229	0,120	0,118	0,167	0,092
DM	4,015	2,523	1,753	2,963	3,974
HM	4,473	2,762	1,990	3,297	4,159

Naměřené hodnoty a výpočet CV_{40} zestárých vzorků po 144 h. (6 dnů)

VZOREK	F_{70} (N)			F_{40} (N)	A (mm ²)	CV_{40} (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	214,350	209,460	206,390	58,592	14639,69	4,002
PUR 1-B	217,020	211,790	208,820	63,740	14706,95	4,334
PUR 1 -C	220,270	214,220	211,030	61,600	14775,59	4,169
PUR 2-A	96,100	94,410	93,370	38,480	14624,97	2,631
PUR 2-B	106,140	102,600	101,320	37,870	14645,00	2,586
PUR 2-C	85,050	83,370	82,380	37,180	14672,78	2,534
PUR 3-A	72,570	71,460	70,940	27,780	14814,35	1,875

VZOREK	F ₇₀ (N)			F ₄₀ (N)	A (mm ²)	CV ₄₀ (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 3-B	72,920	71,120	70,240	28,510	14814,80	1,924
PUR 3-C	71,520	69,950	69,420	27,199	14830,51	1,834
PUR 4-A	104,520	101,790	100,280	44,920	14676,27	3,061
PUR 4-B	111,550	109,110	107,370	48,075	14641,03	3,284
PUR 4-C	110,450	108,010	106,260	46,530	14662,37	3,173
PUR 5-A	122,650	120,850	120,040	54,890	14792,75	3,711
PUR 5-B	135,720	132,820	131,360	56,092	14859,99	3,775
PUR 5-C	133,280	130,320	128,920	55,720	14771,38	3,772

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	4,168	2,584	1,878	3,173	3,752
rozptyl	0,166	0,049	0,045	0,111	0,036
směr. odchylka	0,407	0,221	0,213	0,334	0,191
var.koef	9,770	8,535	11,331	10,522	5,077
95% IS	0,206	0,112	0,108	0,169	0,096
DM	3,962	2,472	1,770	3,004	3,656
HM	4,375	2,695	1,986	3,342	3,849

Naměřené hodnoty a výpočet CV₄₀ zestárlých vzorků po 216 h. (9 dnů)

VZOREK	F ₇₀ (N)			F ₄₀ (N)	A (mm ²)	CV ₄₀ (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	209,950	206,230	204,720	54,570	14638,88	3,728
PUR 1-B	266,840	257,480	253,530	59,050	14705,39	4,016
PUR 1-C	180,720	176,940	175,080	59,940	14775,11	4,057
PUR 2-A	118,020	114,530	113,130	36,091	14624,01	2,468
PUR 2-B	98,600	96,740	96,040	36,030	14643,63	2,460
PUR 2-C	79,720	78,440	77,860	34,410	14672,14	2,345
PUR 3-A	74,780	73,730	73,330	27,260	14815,01	1,840
PUR 3-B	75,410	74,370	73,900	26,720	14815,01	1,804
PUR 3-C	61,650	60,950	60,490	27,330	14826,58	1,843
PUR 4-A	94,890	92,970	91,920	39,710	14672,74	2,706
PUR 4-B	102,900	100,460	99,240	41,490	14637,64	2,834
PUR 4-C	101,040	98,600	97,560	40,560	14661,41	2,766
PUR 5-A	127,430	126,150	125,450	54,230	14789,58	3,667
PUR 5-B	127,540	125,510	124,640	56,630	14856,86	3,812
PUR 5-C	126,030	123,880	123,180	55,660	14770,76	3,768

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,933	2,425	1,829	2,769	3,749
rozptyl	0,179	0,069	0,022	0,064	0,074
směr. odchylka	0,423	0,262	0,149	0,253	0,273
var.koef	10,764	10,816	8,120	9,142	7,275
95% IS	0,214	0,133	0,075	0,128	0,138
DM	3,719	2,292	1,754	2,641	3,611
HM	4,148	2,557	1,904	2,897	3,887

Naměřené hodnoty a výpočet CV_{40} zestárých vzorků po 288 h. (12 dnů)

VZOREK	F_{70} (N)			F_{40} (N)	A (mm ²)	CV_{40} (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	193,540	188,840	186,920	57,470	14637,56	3,926
PUR 1-B	173,730	170,300	168,210	60,780	14704,71	4,133
PUR 1-C	162,000	161,010	160,780	56,800	14772,69	3,845
PUR 2-A	128,050	123,640	121,490	30,910	14623,00	2,114
PUR 2-B	104,880	101,570	100,110	32,020	14645,55	2,186
PUR 2-C	83,780	81,800	80,810	31,260	14673,97	2,130
PUR 3-A	70,890	69,140	68,440	26,270	14813,68	1,773
PUR 3-B	73,440	71,460	70,650	27,022	14814,38	1,824
PUR 3-C	63,730	62,510	61,990	26,200	14824,60	1,767
PUR 4-A	94,000	92,080	90,570	42,940	14673,64	2,926
PUR 4-B	105,680	103,240	101,560	46,540	14638,90	3,179
PUR 4-C	100,920	98,950	97,380	45,380	14656,87	3,096
PUR 5-A	126,900	124,170	122,950	53,690	14788,26	3,631
PUR 5-B	121,660	119,050	117,600	55,260	14860,97	3,718
PUR 5-C	117,310	115,160	113,880	55,030	14769,62	3,726

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,968	2,143	1,788	3,067	3,692
rozptyl	0,149	0,038	0,031	0,129	0,053
směr. odchylka	0,386	0,195	0,176	0,359	0,230
var.koef	9,719	9,097	9,869	11,705	6,237
95% IS	0,195	0,099	0,089	0,182	0,117
DM	3,773	2,045	1,699	2,886	3,575
HM	4,163	2,242	1,878	3,249	3,808

Naměřené hodnoty a výpočet CV_{40} zestárých vzorků po 360 h. (15 dnů)

VZOREK	F_{70} (N)			F_{40} (N)	A (mm ²)	CV_{40} (kPa)
	1.	2.	3.	4.		
PUR 1-A	162,000	161,010	160,780	52,130	14635,53	3,562
PUR 1-B	173,730	170,300	168,210	50,320	14707,87	3,421
PUR 1-C	193,540	188,840	186,920	48,660	14772,57	3,294
PUR 2-A	128,050	123,640	121,490	34,570	14624,88	2,364
PUR 2-B	104,880	101,570	100,110	33,800	14648,61	2,307
PUR 2-C	83,780	81,800	80,810	34,290	14673,16	2,337
PUR 3-A	70,890	69,140	68,440	24,750	14820,07	1,670
PUR 3-B	73,440	71,460	70,650	24,170	14817,92	1,631
PUR 3-C	63,730	62,510	61,990	25,280	14824,39	1,705
PUR 4-A	94,000	92,080	90,570	41,610	14670,80	2,836
PUR 4-B	105,680	103,240	101,560	43,290	14639,74	2,957
PUR 4-C	100,920	98,950	97,380	42,77	14663,29	2,917
PUR 5-A	126,900	124,170	122,950	49,400	14785,24	3,341
PUR 5-B	121,660	119,050	117,600	52,190	14859,20	3,512
PUR 5-C	117,310	115,160	113,880	52,820	14769,11	3,576

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,426	2,336	1,669	2,903	3,477
rozptyl	0,134	0,028	0,037	0,062	0,122
směr. odchylka	0,366	0,168	0,193	0,248	0,349
var.koef	10,687	7,190	11,541	8,542	10,030
95% IS	0,185	0,085	0,097	0,125	0,176
DM	3,240	2,251	1,571	2,778	3,300
HM	3,611	2,421	1,766	3,029	3,653

Výsledky SAG faktoru

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru nových vzorků

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	18,2600	25,0600	56,5700	3,098	3,05
	18,6800	25,3000	56,0300	2,999	
PUR 1-B	20,0800	26,4800	66,8000	3,327	3,32
	19,7100	26,0900	65,4700	3,322	
PUR 1-C	18,2100	24,8800	52,9600	2,908	2,98
	17,4800	23,9200	53,3800	3,054	
PUR 2-A	12,8800	17,4900	40,4200	3,138	3,14
	12,8500	18,2800	40,4700	3,149	
PUR 2-B	12,9100	19,2200	36,5600	2,832	2,98
	12,2800	18,7700	38,3900	3,126	
PUR 2-C	13,4700	19,7900	43,9990	3,266	3,23
	13,6900	20,0100	43,7500	3,196	
PUR 3-A	12,5200	16,0400	40,9800	3,273	3,37
	11,9900	16,3900	41,5300	3,464	
PUR 3-B	11,5400	15,3500	36,6700	3,178	3,12
	11,7700	15,3900	36,1000	3,067	
PUR 3-C	11,3600	14,9900	42,1400	3,710	3,69
	11,3600	14,9900	41,8100	3,680	
PUR 4-A	14,0600	20,4100	43,9200	3,124	3,12
	14,3900	19,8000	44,9500	3,124	
PUR 4-B	14,6700	20,0800	45,3900	3,094	3,13
	14,7400	20,2600	46,5900	3,161	
PUR 4-C	15,3300	21,1500	44,7600	2,920	2,94
	14,9400	20,9600	44,2000	2,959	
PUR 5-A	18,8100	25,7600	46,3000	2,461	2,45
	18,9800	25,1100	46,4100	2,445	
PUR 5-B	18,4100	25,0100	45,7900	2,487	2,50
	18,2300	25,7200	45,9700	2,522	
PUR 5-C	18,6600	25,3200	47,3300	2,536	2,49
	19,4800	25,1225	47,5600	2,441	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,118	3,118	3,395	3,063	2,482
rozptyl	0,172	0,149	0,266	0,099	0,040
směr. odchylka	0,414	0,386	0,516	0,315	0,200
var.koef	13,294	12,391	15,200	10,288	8,053
95% IS	0,210	0,196	0,261	0,159	0,101
DM	2,908	2,922	3,134	2,904	2,381
HM	3,328	3,314	3,656	3,223	2,583

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru zestárých vzorků po 72 h. (3 dny)

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	17,4400	24,0600	50,7300	2,909	2,95
	16,8000	23,7200	50,2700	2,992	
PUR 1-B	19,3600	26,4500	63,0000	3,254	3,30
	18,4900	25,3500	61,7300	3,339	
PUR 1 -C	17,7900	24,3500	53,4100	3,002	3,03
	17,7900	24,2400	54,2200	3,048	
PUR 2-A	12,7300	18,4800	43,1800	3,392	3,20
	12,7300	18,0800	38,3000	3,009	
PUR 2-B	11,7400	16,7900	34,2800	2,920	2,95
	11,6200	16,8500	34,6900	2,985	
PUR 2-C	11,9700	17,2000	39,2200	3,277	3,12
	12,3800	17,6700	36,6100	2,957	
PUR 3-A	10,4000	14,7600	43,4100	4,174	3,92
	10,5800	14,5900	38,8200	3,669	
PUR 3-B	10,9300	14,6500	34,4000	3,147	3,11
	10,9300	14,8800	33,6500	3,079	
PUR 3-C	11,1100	15,1700	36,3800	3,275	3,36
	10,8100	14,6500	37,2000	3,441	
PUR 4-A	14,2400	20,1700	40,7400	2,861	2,89
	13,8900	19,7000	40,5600	2,920	
PUR 4-B	13,8900	19,2900	43,8700	3,158	3,08
	13,4900	18,8300	40,6200	3,011	
PUR 4-C	13,4800	19,0100	42,3100	3,139	3,08
	13,1300	18,4200	39,6300	3,018	
PUR 5-A	17,4300	24,2300	43,2300	2,480	2,49
	17,2700	24,1800	43,0100	2,490	
PUR 5-B	17,7200	24,8700	44,4500	2,508	2,50
	17,9100	25,1200	44,7500	2,499	
PUR 5-C	17,9100	25,0000	43,9400	2,453	2,76
	14,0100	20,2800	42,8500	3,059	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,091	3,090	3,464	3,018	2,582
rozptyl	0,168	0,195	0,408	0,117	0,234
směr. odchylka	0,409	0,442	0,639	0,342	0,484
var.koef	13,249	14,291	18,434	11,340	18,754
95% IS	0,207	0,223	0,323	0,173	0,245
DM	2,883	2,866	3,141	2,845	2,337
HM	3,298	3,313	3,787	3,191	2,827

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru zestárých vzorků po 144 h. (6 dnů)

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	14,0100	20,2800	58,8500	4,201	4,41
	14,2400	21,1500	65,8900	4,627	
PUR 1-B	16,3900	23,0100	64,9100	3,960	3,91
	16,6200	23,4800	64,2200	3,864	
PUR 1-C	13,4800	21,9100	67,5200	5,009	4,40
	14,4700	22,4300	54,8200	3,789	
PUR 2-A	11,8600	17,8400	96,5300	8,139	7,75
	12,2000	18,6000	89,7800	7,359	
PUR 2-B	11,4500	19,7000	86,2100	7,529	7,96
	11,7400	19,3500	98,6200	8,400	
PUR 2-C	12,2100	17,9600	67,1300	5,498	6,11
	12,0900	18,0700	81,3000	6,725	
PUR 3-A	10,5800	14,5900	49,2200	4,652	4,89
	10,3400	14,4100	53,0500	5,131	
PUR 3-B	10,7000	14,7100	49,7400	4,649	4,26
	10,8200	14,9400	41,8400	3,867	
PUR 3-C	10,5200	15,1700	55,8400	5,308	5,16
	10,3400	15,0500	51,8700	5,016	
PUR 4-A	13,3700	18,6000	42,9400	3,212	3,36
	13,0800	18,7200	45,9100	3,510	
PUR 4-B	12,8500	18,4300	33,7000	2,623	2,84
	13,4900	18,8900	41,3100	3,062	
PUR 4-C	13,0200	18,9500	45,0300	3,459	3,05
	14,1200	19,8200	37,4200	2,650	
PUR 5-A	15,9900	22,9600	44,7500	2,799	2,72
	16,7900	24,0000	44,5100	2,651	
PUR 5-B	16,6900	24,0700	47,1300	2,824	2,74
	17,0300	24,0700	45,2700	2,658	

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 5-C	16,1500	22,9500	43,7500	2,709	2,65
	16,8000	23,7700	43,4100	2,584	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	4,242	7,275	4,770	3,086	2,704
rozptyl	0,483	1,053	0,515	0,385	0,092
směr. odchylka	0,695	1,026	0,717	0,620	0,304
var.koef	16,383	14,106	15,038	20,097	11,239
95% IS	0,352	0,519	0,363	0,314	0,154
DM	3,890	6,756	4,407	2,772	2,550
HM	4,593	7,794	5,133	3,400	2,858

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru zestárých vzorků po 216 h. (9 dnů)

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	16,8500	23,4200	53,1100	3,152	3,15
	16,7300	23,0700	52,7500	3,153	
PUR 1-B	18,8300	25,8600	62,6400	3,327	3,34
	18,6500	25,8600	62,4600	3,349	
PUR 1-C	14,4700	21,9600	68,8400	4,757	3,89
	17,1400	24,5200	51,6500	3,013	
PUR 2-A	12,0900	17,4400	41,3100	3,417	3,78
	12,4900	18,0700	51,7100	4,140	
PUR 2-B	12,2000	17,8400	44,2700	3,629	3,73
	11,8600	17,4400	45,4400	3,831	
PUR 2-C	12,6700	19,4700	61,4800	4,852	4,11
	12,7200	18,6500	42,7500	3,361	
PUR 3-A	10,9200	15,6300	103,1900	9,450	9,64
	10,6900	15,2800	105,1100	9,833	
PUR 3-B	10,9200	15,8100	89,4100	8,188	7,61
	10,9200	15,2800	76,8700	7,039	
PUR 3-C	10,8100	16,1000	107,4200	9,937	9,04
	10,5100	15,5100	85,6800	8,152	
PUR 4-A	13,5900	19,6400	41,6500	3,065	3,14
	14,2900	20,3900	45,9800	3,218	
PUR 4-B	14,4700	20,6800	45,4300	3,140	3,09
	14,1700	20,0400	43,1600	3,046	

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 4-C	14,5300	20,6900	44,3300	3,051	3,04
	14,8200	21,2100	45,0300	3,038	
PUR 5-A	15,9800	23,3000	52,8700	3,309	3,05
	16,2700	23,3000	45,3200	2,785	
PUR 5-B	16,5700	24,2900	55,4900	3,349	3,20
	16,5600	23,9500	50,5500	3,053	
PUR 5-C	16,2100	23,8800	55,9500	3,452	3,21
	16,6800	24,1800	49,6200	2,975	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	3,459	3,872	8,766	3,093	3,154
rozptyl	0,648	0,559	1,155	0,071	0,256
směr. odchylka	0,805	0,748	1,075	0,267	0,506
var.koef	23,282	19,311	12,259	8,638	16,055
95% IS	0,407	0,378	0,544	0,135	0,256
DM	3,051	3,493	8,223	2,958	2,897
HM	3,866	4,250	9,310	3,228	3,410

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru zestárých vzorků po 288 h. (12 dnů)

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	13,1300	20,4000	82,2200	6,262	5,71
	13,4800	19,8800	69,4000	5,148	
PUR 1-B	15,2300	21,7900	98,7900	6,487	5,88
	15,8000	22,4300	83,2700	5,270	
PUR 1 -C	12,7200	20,6200	88,9200	6,991	5,70
	12,9000	20,6300	56,7700	4,401	
PUR 2-A	11,2200	17,3200	114,8200	10,234	9,94
	11,5100	18,5400	110,9600	9,640	
PUR 2-B	11,7400	17,9000	117,6000	10,017	9,66
	11,7400	18,1300	109,3100	9,311	
PUR 2-C	11,6200	17,9600	100,6800	8,664	9,27
	11,9700	18,4800	118,1100	9,867	
PUR 3-A	9,9400	13,8900	96,6200	9,720	11,07
	9,9900	14,0000	124,1500	12,427	
PUR 3-B	10,3400	16,4400	123,0601	11,901	10,64
	10,4000	14,7600	97,5800	9,383	

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 3-C	10,2300	14,5800	63,2100	6,179	7,09
	10,3400	14,5200	82,7500	8,003	
PUR 4-A	12,9600	18,0100	43,6300	3,367	3,35
	13,4800	18,6500	45,0600	3,343	
PUR 4-B	13,1900	18,3600	42,1700	3,197	3,18
	14,4100	20,2200	45,6100	3,165	
PUR 4-C	13,9400	19,6400	47,6400	3,418	3,02
	14,0000	19,8700	36,7700	2,626	
PUR 5-A	15,4600	22,4300	54,8400	3,547	3,23
	16,2100	23,0700	47,1700	2,910	
PUR 5-B	16,1000	23,2500	50,4300	3,132	3,13
	15,9200	23,0700	49,8500	3,131	
PUR 5-C	15,5100	22,4800	50,6000	3,262	3,20
	15,9200	22,8900	50,0200	3,142	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	5,760	9,622	9,602	3,186	3,188
rozptyl	0,975	0,566	2,350	0,291	0,210
směr. odchylka	0,988	0,753	1,533	0,540	0,458
var.koef	17,146	7,822	15,964	16,942	14,374
95% IS	0,500	0,381	0,776	0,273	0,232
DM	5,260	9,241	8,827	2,913	2,956
HM	6,260	10,003	10,378	3,459	3,419

Naměřené hodnoty a výpočet SAG faktoru zestárých vzorků po 360 h. (15 dnů)

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 1-A	13,6000	24,5100	89,6499	6,592	6,09
	13,9500	20,9200	77,9000	5,584	
PUR 1-B	14,9300	21,6700	97,8600	6,555	6,02
	15,6300	22,3100	85,5900	5,476	
PUR 1-C	14,0000	20,9200	77,6800	5,549	6,01
	13,5400	20,4000	87,6800	6,476	
PUR 2-A	11,7400	17,6000	71,8700	6,122	7,92
	11,8000	18,1900	114,5800	9,710	
PUR 2-B	11,8600	18,6000	96,9800	8,177	7,72
	11,9100	18,4800	86,6200	7,273	

VZOREK	SÍLA POTŘEBNÁ KE STLAČENÍ (N)			SAG (-)	Ø SAG (-)
	F ₂₅	F ₄₀	F ₆₅		
PUR 2-C	12,3800	18,6000	63,5000	5,129	6,25
	12,0900	18,6600	89,0200	7,363	
PUR 3-A	10,3400	14,7600	98,0800	9,485	9,27
	9,8800	13,8300	89,3600	9,045	
PUR 3-B	10,4600	15,4600	117,5400	11,237	10,60
	10,5200	14,6400	104,7800	9,960	
PUR 3-C	10,1100	16,0900	101,6500	10,054	10,86
	10,4100	15,4000	121,3600	11,658	
PUR 4-A	13,5400	19,4700	37,7100	2,785	3,49
	12,6100	19,0600	52,9800	4,201	
PUR 4-B	13,7100	19,7000	44,1500	3,220	3,12
	14,3000	20,1600	43,2800	3,027	
PUR 4-C	14,0000	19,9300	43,5700	3,112	3,05
	14,0100	19,9400	41,7800	2,982	
PUR 5-A	15,7500	22,8400	55,7200	3,538	3,21
	15,8600	22,8300	45,6600	2,879	
PUR 5-B	16,3900	23,9400	53,9700	3,293	3,12
	16,6200	23,9400	49,0900	2,954	
PUR 5-C	15,8000	23,1200	52,6300	3,331	3,17
	16,2100	23,4800	48,8000	3,010	

statistika	PUR 1	PUR 2	PUR 3	PUR 4	PUR 5
celkový průměr	6,038	7,296	10,240	3,221	3,167
rozptyl	0,553	1,593	1,012	0,502	0,258
směr. odchylka	0,743	1,262	1,006	0,708	0,508
var.koef	12,310	17,298	9,822	21,986	16,041
95% IS	0,376	0,639	0,509	0,358	0,257
DM	5,662	6,657	9,731	2,863	2,910
HM	6,415	7,934	10,749	3,580	3,425

Výsledky součinitele stárnutí

Vyhodnocení OH v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
	Ø OH (kg/m ³)	Ø OH po 72 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 144 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 216 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 288 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 360 h. (kg/m ³)	S (%)
PUR 1-A	28,065	28,004	0,21	28,017	0,17	27,808	0,92	27,876	0,68	27,810	0,91
PUR 1-B	27,962	27,910	0,19	27,898	0,23	27,663	1,08	27,670	1,06	27,656	1,11
PUR 1 -C	27,269	27,190	0,29	27,212	0,21	27,018	0,93	27,023	0,91	26,975	1,09
PUR 2-A	26,738	26,650	0,33	26,661	0,29	26,475	0,99	26,485	0,96	26,456	1,07
PUR 2-B	26,772	26,699	0,27	26,713	0,22	26,528	0,92	26,510	0,99	26,453	1,21
PUR 2-C	26,604	26,544	0,23	26,537	0,25	26,383	0,84	26,377	0,86	26,332	1,03
PUR 3-A	27,261	27,227	0,12	27,205	0,21	27,124	0,50	27,133	0,47	27,100	0,60

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
		Ø OH (kg/m ³)	Ø OH po 72 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 144 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 216 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 288 h. (kg/m ³)	S (%)	Ø OH po 360 h. (kg/m ³)
PUR 3-B	27,475	27,444	0,11	27,414	0,22	27,304	0,63	27,321	0,56	27,299	0,65
PUR 3-C	27,261	27,237	0,09	27,201	0,22	27,145	0,43	27,143	0,44	27,135	0,46
PUR 4-A	22,587	22,546	0,18	22,543	0,20	22,379	0,93	22,384	0,91	22,349	1,07
PUR 4-B	22,840	22,800	0,17	22,792	0,21	22,637	0,90	22,606	1,04	22,594	1,09
PUR 4-C	22,592	22,554	0,17	22,546	0,21	22,403	0,85	22,384	0,93	22,349	1,09
PUR 5-A	36,681	36,608	0,20	36,608	0,20	36,404	0,76	36,442	0,65	36,431	0,68
PUR 5-B	36,707	36,646	0,17	36,647	0,16	36,456	0,69	36,491	0,59	36,477	0,63
PUR 5-C	36,949	36,879	0,19	36,882	0,18	36,698	0,69	36,781	0,46	36,774	0,48

Vyhodnocení CV₄₀ v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
	CV40 (kPa)	CV40 po 72 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 144 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 216 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 288 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 360 h. (kPa)	S (%)
PUR 1-A	4,231	4,119	2,72	4,002	5,72	3,728	13,51	3,926	7,77	3,562	18,79
PUR 1-B	4,595	4,480	2,58	4,334	6,03	4,016	14,44	4,133	11,18	3,421	34,32
PUR 1 -C	4,435	4,132	7,34	4,169	6,38	4,057	9,32	3,845	15,34	3,294	34,64
PUR 2-A	2,712	2,678	1,27	2,631	3,08	2,468	9,90	2,114	28,31	2,364	14,74
PUR 2-B	2,719	2,670	1,82	2,586	5,14	2,460	10,50	2,186	24,36	2,307	17,83
PUR 2-C	2,613	2,578	1,37	2,534	3,13	2,345	11,43	2,130	22,67	2,337	11,82
PUR 3-A	1,987	1,934	2,77	1,875	5,97	1,840	8,00	1,773	12,06	1,670	18,99
PUR 3-B	2,026	1,849	9,55	1,924	5,26	1,804	12,31	1,824	11,05	1,631	24,18
PUR 3-C	1,959	1,831	7,00	1,834	6,84	1,843	6,30	1,767	10,87	1,705	14,90

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
	CV40 (kPa)	CV40 po 72 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 144 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 216 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 288 h. (kPa)	S (%)	CV40 po 360 h. (kPa)	S (%)
PUR 4-A	3,161	3,021	4,65	3,061	3,29	2,706	16,81	2,926	8,03	2,836	11,46
PUR 4-B	3,384	3,238	4,49	3,284	3,05	2,834	19,37	3,179	6,43	2,957	14,43
PUR 4-C	3,260	3,131	4,13	3,173	2,73	2,766	17,85	3,096	5,30	2,917	11,77
PUR 5-A	4,085	4,040	1,10	3,711	10,08	3,667	11,40	3,631	12,51	3,341	22,25
PUR 5-B	4,106	4,104	0,06	3,775	8,78	3,812	7,73	3,718	10,43	3,512	16,91
PUR 5-C	4,055	4,055	0,02	3,772	7,50	3,768	7,61	3,726	8,84	3,576	13,39

Vyhodnocení SAG faktoru v procesu stárnutí

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
	Ø SAG (-)	Ø SAG po 72 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 144 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 216 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 288 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 360 h. (-)	S (%)
PUR 1-A	3,0	3,0	3,33	4,4	-30,93	3,2	-3,29	5,7	-46,56	6,1	-49,92
PUR 1-B	3,3	3,3	0,84	3,9	-15,03	3,3	-0,41	5,9	-43,45	6,0	-44,74
PUR 1-C	3,0	3,0	-1,45	4,4	-32,23	3,9	-23,28	5,7	-47,66	6,0	-50,42
PUR 2-A	3,1	3,2	-1,77	7,7	-59,43	3,8	-16,80	9,9	-68,36	7,9	-60,29
PUR 2-B	3,0	3,0	0,89	8,0	-62,60	3,7	-20,13	9,7	-69,17	7,7	-61,44
PUR 2-C	3,2	3,1	3,67	6,1	-47,13	4,1	-21,32	9,3	-65,13	6,2	-48,27
PUR 3-A	3,4	3,9	-14,11	4,9	-31,13	9,6	-65,06	11,1	-69,58	9,3	-63,64
PUR 3-B	3,1	3,1	0,30	4,3	-26,67	7,6	-58,99	10,6	-70,66	10,6	-70,54

č. vzorku	před stárnutím	CYKLUS STÁRNUTÍ									
		1		2		3		4		5	
	Ø SAG (-)	Ø SAG po 72 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 144 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 216 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 288 h. (-)	S (%)	Ø SAG po 360 h. (-)	S (%)
PUR 3-C	3,7	3,4	10,04	5,2	-28,42	9,0	-59,15	10,0	-63,12	10,9	-65,96
PUR 4-A	3,1	3,0	3,03	3,2	-2,67	3,1	-0,56	3,3	-4,69	3,3	-6,33
PUR 4-B	3,1	3,1	1,38	3,0	2,98	3,1	1,12	3,2	-1,69	3,1	0,13
PUR 4-C	2,9	3,1	-4,53	3,1	-3,77	3,0	-3,47	3,0	-2,74	3,0	-3,54
PUR 5-A	2,5	2,5	-1,29	2,7	-9,96	3,0	-19,48	3,2	-24,01	3,2	-23,53
PUR 5-B	2,5	2,5	0,04	2,7	-8,63	3,2	-21,75	3,1	-20,03	3,1	-19,81
PUR 5-C	2,5	2,6	-2,67	2,6	-5,95	3,2	-22,54	3,2	-22,27	3,2	-21,50