Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

Peter Beňuš

Automatické testovanie softvéru

Bakalársky projekt 1

Študijný program: Informatika
Vedúci bakalárskeho projektu: Ing. Karol Rástočný
December 2015

Slovenská technická univerzita v Bratislave
FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ

Anotácia

Študijný program: Informatika
Autor: Peter Beňuš
Názov bakalárskej práce: Automatické testovanie softvéru
Vedúci bakalárskej práce: Ing. Karol Rástočný
december 2015

Práca sa venuje jednotkovému testovaniu softvéru. Obsahuje analýzu vlastností jednotkového testovania, z ktorých vyplývajú vlastnosti na frameworky určené na jednotkové testovanie. Na základe vlastností jednotkového testovania sú odvodené vlastnosti ideálneho testovacieho frameworku na jednotkové testovanie. Vybraných je niekoľko frameworkov pre jazyk C# a Java a všetky tieto frameworky patria do skupiny xUnit z čoho vyplýva, že majú viacero spoločných vlastností, ale zároveň používajú niekoľko rôznych spôsobov testovania. Každý testovací framework prináša zo sebou nejaké výhody aj nevýhody oproti ostatným softvérom. Preto sú tieto frameworky porovnané s ideálny frameorkom a je vybraný jeden pre jazyk C# a jeden pre jazyk Java, ktorý sa najviac podobá ideálnemu.

Slovak University of Technology Bratislava
FACULTY OF INFORMATICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Annotation

Degree Course: Informatics

Author: Peter Beňuš

Title of bachelor thesis: Automatic Software Testing

Supervisor: Ing. Karol Rástočný

december 2015

This work devotes to unit testing of software. It includes analysis of unit testing characteristics from which emerge features of unit testing frameworks. Features of ideal unit testing framework are derived from unit testing characteristics. Several of unit testing frameworks for C# and Java was chosen and all of these frameworks, belong to the xUnit group, so they have common features, but also they used different ways how to test units. Every of this testing frameworks have prons and cons compared to the others. Because of this, framework are compared with ideal framework. One for C# and one for Java which is most similar to the ideal is chosen.

Obsah

1 Úvod

Testovanie softvéru v súčastnosti naberá na dôležitosti a prikladá sa mu čoraz väčšia váha počas tvorby softvéru. Napriek tomu, že pri súčasnej komplexnosti rôznych programov nedokážeme zabezpečiť úplnú absenciu chýb má veľký význam sa snažiť tieto chyby minimalizovať.

Testovanie môže prebiehať (a často aj prebieha) počas celej doby životného cyklu programu. Čím skôr je chyba odhalená a opravená tým menšie negatívne následky bude mať na výsledný produkt. Preto je dôležité testovať softvér od začiatku tvorby, od najmenších jednotiek, cez integráciu viacerých jednotiek a komponentov až po celé systémy, ktoré môžu byť zložené z viacerých programov.

Preto, že je dôležité odhaliť chybu čo najskôr a medzi pracovnými rámcami nie je doteraz vytvorené žiadne porovnanie, tak sme sa rozhodli porovnať viacero pracovných rámcov na jednotkové testovanie a vytvoriť ich porovnanie čo najobjektívnejšie a nezohľadňovať len subjektívne pocity, ktoré vznikajú pri práci s každým pracovným rámcom.

Tak ako sa v rôznych častiach životného cyklu softvéru testujú rôzne aspekty produktu, používajú sa aj rôzne prístupy testovania a softvér testujú rôzny ľudia. Jednotkové testovanie vykonávajú typicky programátori a testujú jednotlivé jednotky nezávisle od seba. Integračné a systémové testovanie majú na starosti testeri a ich úlohou je odhaliť chyby v komunikácií medzi komponentami, resp. programom a konkrétnym systémom. Akceptačné testovanie vykonáva už objednávateľ alebo cieľová skupina používateľov a jeho výsledkom je akceptovanie výsledného produktu, resp. neakceptovanie a nutnosť opravy [8].

Jednotkové testovanie je typ testovania, ktorým sa musel zaoberať každý, kto už niečo programoval, pretože vždy začíname tým, že vytvoríme nejakú jednotku programu a postupne sa k tomu pridávajú ďalšie. Dokonca je tento postup úplne nezávislý od toho či sa iba učíme programovať alebo už programovať vieme a vytvárame nejaký program na konkrétny účel. Výrazný rozdiel, ale môže byť v tom, že začiatočníci budú testovať svoje jednotky programu opakovaným spúšťaním, zadávaním rôznych vstupov a sledovaním výsledkov, ale skúsený programátor použije nejaký pracovný rámec, ktorý dokáže otestovať to čo treba za neho a upozorniť ho keď sa niekde nájde chyba.

Pracovný rámec, ktorý by dokázal automaticky vykonávať jednotkové testovanie by bol preto veľkým prínosom pre programátorov, pretože by im zrýchlil a zjednodušil prácu.

2 Testovanie softvéru

Testovanie softvéru je empirická činnosť, ktorá skúma kvalitu testovaného produktu alebo služby vykonávaná na podanie informácií o kvalite všetkým zainteresovaným osobám [6]. V súčastnosti existuje veľa spôsobov testovania a veľa častí životného cyklu softvéru, v ktorých sa aplikujú iné typy testov. Testovanie softvéru môžeme rozdeliť na kategórie podľa postupu, ktorý sa používa pri testovaní, podľa spôsobu testovania a podľa úrovne testu.

2.1 Podľa postupu testovania

2.1.1 Testovanie formou čiernej skrinky

Testuje funkcionalitu bez informácií o tom ako je softvér implementovaný. Tester dostane iba informácie o tom, aký by mal byť výsledok testu po zadaní vstupných dát a kontroluje výstup softvéru či sú výstupné dáta totožné s očakávanými [5]. Test je konštruovaný z funkcionálnych vlastností, ktoré sú špecifikované požiadavkách na program [7]. Výhodou tohto typu testovania je, že tester nie je ovplyvnený štruktúrou zdrojového kódu a tým môže odhaliť chyby aj tam, kde to programátor nehľadal lebo to považoval za správne pri pohľade na zdrojový kód, ale bola tam chyba, ktorá zo zdrojového kódu nemusí byť viditeľná (napríklad nesprávne, resp. nedostatočné ošetrenie nekorektných vstupov). Hlavnou výhodou je, že tester nemusí poznať zdrojový kód a preto môže oveľa rýchlejšie vytvoriť testy. Nevýhodou je úroveň otestovania systému, pretože tvorca testov nevie ako program funguje, a preto veľmi pravdepodobne nebude schopný vytvoriť test, ktorý by testoval všetky vetvy programu. Používa sa pri jednotkovom, integračnom, systémovom a akceptačnom testovaní. Okrem použitia pri rôznych úrovniach testov sa využíva aj na validáciu softvéru [5].

2.1.2 Testovanie formou bielej skrinky

Pri tomto spôsobe testovania je testerovi známa vnútorná štruktúra softvéru a aj konkrétna implementácia. Test sa tvorí tak, aby bola otestovaná každá vetva zdrojového kódu [5]. Používa sa pri jednotkovom testovaní na skoré odhalenie čo najväčšieho množstva chýb, pri integračnom testovaní na testovanie správnej spolupráce rôznych jednotiek programu a aj pri regresnom testovaní, kde sa používajú recyklované testovacie prípady z integračného

a jednotkového testovania a taktiež slúži na verifikáciu. Výhodou je schopnosť otestovať komplexne všetky vetvy, ktoré program na danej úrovni testu vykonáva, ale nevýhodou je, že tester musí mať dobré vedomosti o zdrojovom kóde a v niektorých prípadoch tvorenia testov môže byť znalosť zdrojového kódu nevýhoda.

2.1.3 Testovanie formou sivej skrinky

Spôsob testovania, pri ktorom je známy zdrojový kód (nemusí byť sprístupnený úplne celý), ale testy sa vykonávajú rovnako ako pri testovaní formou čiernej skrinky. Používa sa napríklad pri integračnom testovaní ak máme dva moduly od rôznych vývojárov a odkryté sú len rozhrania [5]. Poskytuje výhody obidvoch predchádzajúcich prístupov, ale má oproti nim aj nejaké nevýhody. Oproti testovaniu čiernou skrinkou má výhodu v lepšom pokrytí rôznych vetiev zdrojového kódu, ale je časovo náročnejšie na tvorbu testov. Oproti testovaniu bielou skrinkou je menej náročné na znalosť zdrojového kódu, pretože ho nemá prístupný celý, ale nepokrýva všetky vetvy programu a preto je menej komplexné.

2.2 Podľa spôsobu testovania

2.2.1 Statické testovanie

Statické testovanie je často implicitné. Zahŕňa napríklad kontrolu zdrojového kódu programátorom jeho čítaním hneď po napísaní, kontrolu štruktúry a syntaxe kódu nástrojom alebo editorom, v ktorom sa zdrojový kód píše. Program nie je potrebné spúšťať, ale analýza zdrojového kódu založená na upravovacích pravidlách zistí v zdrojovom kóde rôzne možné chyby, ktoré sa zvyčajne objavujú v spravovaní pamäte, neinicializovaných premenných, výnimke nulového smerníku, porušení prístupu k poľu a taktiež pretečení vyrovnávacej pamäti [12].

Veľmi dôležitou súčasťou statického testovania je posudzovanie zdrojového kódu (angl. codereview). Je to posudzovanie zdrojového kódu iným vývojárom za účelom dosiahnutia čo najvyššej kvality. Formálny variant tohto posudzovania bol veľmi dlho efektívnym kvalitatívnym prínosom pri tvorbe softvéru, ale za relatívne vysokú cenu. Preto sa v poslednej dobe začala používať odľahčené a neformálne posudzovanie založené na nástrojoch. Táto

forma sa na nazýva moderné posudzovanie softvéru (angl. modern code review). Tieto nástroje sú kolaboratívne a umožňujú všetkým spoluprácovníkom vidieť stav každého, jeho komentáre a značky pri zdrojovom kóde a pod. [2]

Výhodou je, že v súčasnosti je už vo väčšine vývojových prostredí statické testovanie automatické. Je rýchle a dokáže odhaliť niektoré chyby v zdrojovom kóde aj pred spustením programu (napr. použitie neinicializovaných premenných). Okrem toho ešte dobré statické testovanie môže odhaliť logické chyby v zdrojovom kóde, ktoré by sa inak odhalili až pri dynamickom testovaní. Staticky môže testovať aj neúplný a ešte nespustiteľný program. Nevýhodou je, že nedokáže zistiť, či sa počas behu vyskytne nejaká chyba, pretože prebieha len na základe zdrojového kódu a pri testovaní sa program nespúšťa.

2.2.2 Dynamické testovanie

Dynamické testovanie prebiaha už na spustiteľnom programe. Program nemusí byť ešte kompletný, ale podmienkou je, že musí byť skompilovateľný a spustiteľný na stroji, na ktorom chceme testovať. Do dynamického testovania spadá buď testovanie formou čiernej skrinky (spustíme program, dáme mu potrebné vstupné dáta a skontrolujeme čo je na výstupe) alebo aj formou bielej skrinky pri **(debuggingu)**. Pri debuggingu môžeme sledovať správanie programu a hodnoty premenných na každom riadku zdrojového kódu. K dynamickému testovaniu sa viaže validácia.

Výhodou dynamického testovania je, že vieme zistiť rýchlo a jednodycho ako sa program naozaj správa, keď je už spustený a odhaliť tak chyby, ktoré nemusia byť alebo sú len veľmi ťažko viditeľné zo zdrojového kódu. Nevýhodou je, že niektoré funkcie programov sú závislé od konfigurácie stroja a my vieme jednoznačne otestovať funkčnosť len na stroji, ktorý máme dostupný. Keďže testovať program na všetkých možných konfiguráciach je nereálne vznikajú v praxi problémy s kompatibilitou.

2.3 Podľa úrovne testu

2.3.1 Jednotkové testovanie

Jednotkové testovanie je metóda testovania softvéru, pri ktorej sa testujú individuálne komponenty (jednotky) zdrojového kódu. Zvyčajne nie je testovacou fázou v zmysle nejakého obdobia na tvorbe projektu (okrem testom riadeného vývoja, kde sa najprv píšu testy a až potom program), ale skôr je to posledný krok písania časti zdrojového kódu. Programátori takmer vykonávajú jednotkové testovanie takmer stále, či už pri testovaní vlastného zdrojového kódu alebo kódu iného programátora [1]. Kvalitné testovanie na tejto úrovni môže výrazne znížiť cenu a čas potrebný na vývoj celého softvéru [5].

2.3.2 Testovanie komponentov

Počas testovania komponentov sa testeri zameriavajú na chyby v ucelených častiach systému. Vykonávanie testu zvyčajne začína, keď je už prvý komponent funkčný spolu so všetkým potrebným (napr. ovládače) na fungovanie tohto komponentu bez zbytku systému [1].

Testovanie komponentov má sklon viezť k štrukturálnemu testovaniu alebo testovaniu formou bielej skrinky. Ak je komponent nezávislý môže sa použiť aj testovanie formou čiernej skrinky [1].

2.3.3 Integračné testovanie

V integračnom testovaní sa testeri zameriavajú na hľadanie chýb vo vzťahoch a rozhraniach medzi pármi a skupinami komponentov. Integračné testovanie musí byť koordinované, aby sa správna množina komponentov spojila správnym spôsobom a v správnom čase pre najskoršie možné odhalenie integračných chýb [1].

Niektoré projekty nepotrebujú formálnu fázu integračného testovania. Ak je projekt množinou nezávislých aplikácií, ktoré nezdieľajú dáta alebo sa nespúšťajú navzájom, môže byť táto fáza preskočená [1].

2.3.4 Systémové testovanie

Systémove testovanie je vykonávané na úplnom a integrovanom systéme za účelom vyhodnotenia súladu systému z jeho špecifikovanými požiadavkami [4]. Niekedy, napríklad pri testovaní inštalácie a použiteľnosti, sa na tieto testy pozerajú na systém z pohľadu zákazníka alebo koncového používateľa. Inokedy sú testy zdôrazňujú konkrétne aspekty, ktoré môžu byť nepovšimnuté používateľom, ale kritické pre správne fungovanie systému [1].

2.3.5 Akceptačné testovanie

Akceptačné testovanie je formálne testovanie zamerané na potreby používateľa, požiadavky a biznis procesy vedúce k rozhodnutiu či systému vyhovuje alebo nevyhovuje akceptačným kritériám a umožniť používateľovi, zákazníkovi alebo inému splnomocnenému subjektu či má alebo nemá byť systém akceptovaný [11]. Narozdiel od predchádzajúcich foriem testovania, akceptačné testovanie demonštruje, že systém spĺňa požiadavky [1].

V komerčnej sfére sú niekedy tieto testy nazývané aj podľa toho kým sú vykonávané älfa testy"(používateľmi vo firme) alebo "beta testy"(súčasnými alebo potenciálnymi zákazníkmi v prevádzke) [1].

3 Kľúčové vlastnosti jednotkového testovania

Per Runeson, profesor na univerzite v Švédskom Lunde robil prieskum medzi 50 firmami, ktorých hlavným produktom je softvér [10]. Firmy boli rôznej veľkosti od firiem tvorených jedným človekom až po firmy so stovkami zamestnancov a taktiež aj rôzneho cieľového odboru, v ktorom sa ich softvér používa. Cieľom tohto prieskumu bolo zistiť, kde sú silné stránky firiem v používaní jednotkového testovania a čo podľa nich jednotkové testovanie zahŕňa. Na základe tohto môžeme odvodiť najdôležitejšie vlastnosti jednotkového testovania využívané v praxi a následne podľa nich porovnať rôzne nástroje umožňujúce jednotkové testovanie.

Jednotkové testovanie je podľa prieskumu testovanie najmenších samostatných jednotiek s vnútornými/vonkajšími parametrami. Takisto sa účastníci prieskumu zhodli na tom, že testovanie sa zameriava na samostatné funkcie avšak už v tom či má byť vykonávané samostatne do zbytku systému sa nezhodli.

Testy by mali byť založené na štruktúre programu (to znamená testovanie formou bielej alebo sivej skrinky), vykonávané automaticky a vedené vývojármi, ktorí zároveň určujú ako by mali byť vykonávané. Toto neplatí pre testom riadený vývoj, ale tým sa nezaoberáme, pretože v ňom sa testy píšu ešte pred písaním zdrojového kódu a práca sa zameriava na testovanie už napísaných jednotiek. Silný nesúhlas bol s tým, že by malo viesť jednotkové testy oddelenie testovania alebo kvality. Špecifikované by mali byť v testovacom kóde a nemali by byť špecifikované v texte.

Pri otázke ako často by mali byť vykonávané sa názory dosť líšili a podľa výsledkov si väčšina myslí, že by mali byť vykonávané niekoľkokrát denne a po každej kompilácii. U väčšiny firiem, ktoré sa zúčastnili prieskumu vykonávanie všetkých jednotkových testov trvá niekoľko minút.

Vo väčšine firiem sú jednotkové testy vykonávané aby sa vývojári presvedčili, že daná jednotka vykonáva to čo od nej očakávali a vo všeobecnosti jednotkové testovanie zvyšuje kvalitu výsledného produktu. Neslúžia na akceptovanie jednotiek a nezvyknú byť požiadavkou klientov.

Medzi silné stránky jednotkového testovania zaradili účastníci prieskumu to, že jednot-

kové testy dobre identifikujú jednotky a dobre sa udržuje ich testovací kód. Dobre špecifikujú testovacie prípady a sú vykonávané automaticky. Ďalšou výhodou je množstvo pracovných rámcov a dobrá integrácia s hotovými systémami.

Slabou stránkou je určite testovanie grafického používateľského rozhrania. Za slabé bolo označené tiež pokrytie kódu a hlásenie chýb. Veľmi nejasné bolo označené posúdenie kedy je jednotkové testovanie ukončené.

Z prieskumu [10] sme identifikovali tieto základné vlastnosti jednotkových testov:

- Zamerané na funkcie testovaného programu.
- Sú založené na štruktúre programu. To znamená, že programátor pozná kód a píše ich tak, aby boli pri testovaní vykonané všetky vetvy zdrojového kódu, ktoré potrebuje otestovať.
- Testy sú špecifikované v zdrojovom kóde.
- Testy sa vykonávajú automaticky a často (niekoľkokrát denne alebo po každej kompilácií).
- Testovanie by malo trvať len krátko, maximálne niekoľko minút.
- Zvyšuje kvalitu a znižuje cenu výsledného produktu lebo vďaka nemu skoro a rýchlo odhalíme chyby.

3.1 Vlastnosti ideálneho pracovného rámca pre jednotkové testovanie

Hlavnou úlohou jednotkového testovania je otestovať, či jedna alebo viac testovaných jednotiek plnia svoju funkciu správne. Zjednodušene môžeme povedať, že pri písaní programov používame dva typy operácií a to sú logické a výpočtové (zmeny dát v dátových typoch). Výpočtové môžeme považovať za správne, pretože počítač vykoná akúkoľvek výpočtovú operáciu s oveľa väčšou pravdepodobnosťou správne ako človek (je len minimálna šanca, že počítač sa môže "pomýliť") a keď sa už stane, že výsledok takejto operácie je nesprávny ide zväčša len o nejakú chybu programátora (napr. pretiekol dátový typ alebo práca

s rôznymi typmi v jednej operácií a počítač pri pretypovaní zmenil hodnotu inak ako predpokladal programátor a pod.). Teda môžeme povedať, že ťažisko správnej funkcionality je v logických operáciach a správnom použití výpočtových operácií. Ideálny pracovný rámec na testovanie by preto mal ponúkať možnosti na kontrolu hodnoty premenných, aby sme vedeli skontrolovať či jednotka robí to čo má robiť.

Môže sa zdať, že druhý bod v zhrnutí vlastností s pracovným rámcom nijako nesúvisí a ide len o to, aby programátor poznal zdrojový kód, ku ktorému píše test, ale neplatí to až tak úplne. Správne jednotkové testovanie pokrýva 100% zdrojového kódu a teda každá vetva je vykonaná počas testovania aspoň raz. Framework by preto mal aspoň vedieť zistiť, koľko percent zdrojového kódu je daným testovaním pokrytých, prípadne určiť, ktoré vetvy pokryté nie sú. Pri predstavách o ideálnom pracovnom rámci, ale môžeme ísť ešte ďalej, pretože ideálny pracovný rámec by dokázala sám napísať testy, ktoré by mali 100% pokrytie kódu. Toto zatiaľ síce nie je úplne reálne, ale už teraz existujú pracovné rámce, ktoré dokážu aj samé generovať testy a preto ak by sme uvažovali o ideálnom a v súčasnosti vytvoriteľnom pracovnom rámci tak by mal vedieť generovať testy aspoň do takej miery, aby programátorovi stačilo skontrolovať, resp. prispôsobiť si ich.

Špecifikácia testov by v ideálnom pracovnom rámci mala byť v zdrojovom kóde. Z toho vyplýva, že forma, v ktorej sú testy špecifikované je rovnaká v akej je napísaný aj zdrojový kód testovanej jednotky. Teda aj jazyk by mal byť rovnaký (prípadne s drobnými odchýlkami ak si to špecifikovanie testov vyžaduje), ale jednoznačne by to nemal byť iný programovací jazyk. Vzhľadom na blízkosť testov k zdrojovému kódu je ideálne ak sú testy a zdrojový kód programu prístupné z toho istého vývojového prostredia.

Programátor po napísaní zdrojového kódu, prípadne po nejakej jeho úprave, keď už dokončí všetko čo chcel spraviť kód spustí kompiláciu. Ak kompilácia prebehne úspešne tak potrebuje zistiť, či jednotka pracuje správne, inými slovami chce ju otestovať. Ideálny pracovný rámec by mal teda programátorovi umožňovať vybrať si či chce po každej kompilácií púšťať testy automaticky. Okrem automatického spúšťania by mal vedieť vyhodnotiť, ktorých testov sa zmeny týkali a spúšťať len tie. Vzhľadom na veľmi malú pravdepodobnosť toho, že počítač urobí pri výpočte nejakú chybu (nesúvisiacu so zdrojobým kódom programátora) môžeme predpokladať, že každá jednotka pri rovnakých vstupných hodno-

tách vykoná vždy to isté. Preto tie jednotky, v ktorých sa nijako neupravoval zdrojový kód a neupravoval sa ani v jednotkách vytvárajúcich vstupy pre tieto jednotky nie je nutné opätovne testovať. Samozrejme vždy by mala byť možnosť manuálneho spustenia vybraných testov.

Jednotkové testovanie by nemalo dlho trvať, ale dĺžka testovania z väčšej časti nezávisí od pracovného rámca, ale od počtu a dĺžky testov. To ale neznamená, že pracovný rámec s tým nemôže nič spraviť. Každé testovanie pomocou pracovného rámca si vyžaduje nejakú réžiu počas testovania. Ideálny pracovný rámec by žiadnu réžiu okolo nepotreboval, ale to je nemožné a preto za ideálny môžeme považovať ten, ktorého réžia nie je väčšia ako naozaj nutná na poskytnutie všetkých potrebných vlastností, ktoré by testovanie malo mať.

Ideálny pracovný rámec je teda taký, ktorý umožní programátorovi otestovať funkcie jednotiek, vygeneruje testy pre programátora, ktorý ich už len prispôsobí, zistí koľko percent kódu je pokrytého testami, používa rovnaký jazyk na písanie testov ako sa používa v zdrojovom kóde, testy sa píšu v rovnakom vývojom prostredí, púšťajú sa automaticky vtedy kedy chce programátor a len v rozsahu v akom sa robili zmeny v kóde a časová réžia testu je čo najmenšia.

4 Hodnotenie pracovných rámcov

Pre účely tejto práce si definujeme hodnotenie pracovných rámcov, aby sme ich vedeli čo najobjektívnejšie porovnať a rozhodnúť, ktorý má najbližšie k ideálnemu a čo je jeho najslabšia stránka oproti ostatným.

Hodnotené vlastnosti pracovných rámcov:

- čas potrebný na napísanie testov a naučenie sa syntaxe pracovného rámca
- prehľadnosť jazyka a prostredia
- pomer času, ktorý jednotka potrebuje na vykonanie práce počas testovania v pracovnom rámci a času vykonanie mimo neho
- univerzálnosť podporovaných testov (použiteľnosť testov v inom pracovnom rámci)
- správa spúšťania testov (možnosť rozdelenia testov do skupín, automatické spúšťanie a pod.)
- zobrazenie výsledkov testovania (prehľadnosť, ako rýchlo sa dá zistiť, ktorý test skončil s chybou a aká bola chyba a pod.)
- automatické generovanie testov

Vyhodnocovanie vlastností sa bude rozlišovať podľa toho, či je daná vlastnosť merateľná (napr. čas) alebo nemerateľná (napr. prehľadnosť). Merateľné vlastnosti budú zoradené od najhoršieho výsledku po najlepší v pozorovanej vlastnosti a tento interval bude rozdelený na niekoľko rovnakých častí. Podľa toho v akej časti pracovný rámec bude toľko bodov dostane (čím viac tým lepšie). Nemerateľné vlastnosti sa nedajú hodnotiť tak objektívne ako merateľné a preto pri nich budeme najprv diskutovať výhody a nevýhody každého pracovného rámca pri pozorovanej vlastnosti a podľa toho budú prideľované body.

5 xUnit

xUnit je označenie pre skupinu pracovnývh rámcov, ktoré slúžia na jednotkové testovanie. Vznikol pôvodne pre programovací jazyk Smalltalk a veľmi rýchlo sa stal známym a úspešným. Dnes už majú všetky bežne používané programovacie jazyky minimálne jeden vlastný pracovný rámec na jednotkové testovanie a mnoho z nich je odvodených práve od xUnit. [1]

Spoločné znaky pracovných rámcov patriacich do skupinu xUnit odvodené zo znakov SUnit [3]:

- **Spúšťač testov (Test runner)** - Je to spustitešný program, ktorý vykoná test a zároveň vytvorí správu o výsledku testu.
- **Testovacie prípady (Test case)** - Je to základná trieda, od ktorej sú odvodené všetky testy. Reprezentuje test alebo skupinu testov.
- **Podmienky pre spustenie testov (Test fixtures)** - Množina podmienok definovaných programátorom, ktoré musia byť splnené pred vykonaním testu. Po teste by mali byť vrátené do pôvodného stavu.
- **Zostavy testov (Test suites)** - Množina testov, ktoré zdieľajú podmienky potrebné pre spustenie testu. Je to množina niekoľkých testovacích prípadov.
- **Vykonanie testu** - Vykonanie individuálneho jednotkového testu.
- **Výsledok testu** - Obsahuje informácie o výsledkoch testu ako napríklad počet úspešných testov, počet neúspešných testov a počet zastavených testov, kvôli chybe programu.
- **Assertion** - Je to funkcia alebo makro, ktorá definuje stav testovanej jednotky. Zvyčajne je to logická podmienka, ktorá pravdivá ak je výsledok testu správny. Zlyhanie väčšinou končí volaním výnimky, ktorá ukončí vykonávanie testu.

[1] http://www.martinfowler.com/bliki/Xunit.html

5.1 Nástroje patriace do skupiny xUnit pre Javu

Arquillian je inovatívna a rozšíriteľná testovacia platforma pre JVM (Java virtual machine), ktorá umožnuje vytvárať integračné, akceptačné a funkcionálne testy. [2] Arquillian nevyužíva mocky, ale testy spúšťa za behu programu (brings tour test to the runtime), je možné testy debugovať a obsahuje množstvo pluginov pre rôzne iné nástroje. [3] Projekty dodržiavajú tri základné princípy:

- Test by mal byť prenositeľný do akéhokoľvek podporovaného kontajneru.
- Test by mal byť spustiteľný aj s integrovaného vývojového prostredia aj s kompilačného nástroja.
- Platforma by mala rozširovať alebo integrovať existujúce pracovné rámce.

HavaRunner je voľne dostupný testovací pracovný rámec. Jeho najväčším rozdielom oproti ostatným rozšíreným (napr. JUnit a TestNG) je, že testy sú predvolene paralelné, čo prináša nezanedbateľnú zmenu v rýchlosti testov [4]. Okrem spomínaných má aj tieto vlastnosti [5]:

- Dokáže vytvárať skupiny testov.
- Test môže bežať s rôznymi skupinami vstupných dát.
- Každý test má vlastnú inštanciu.
- Model behu je úplne asynchrónny.
- HavaRunner je spúšťač JUnit, to znamená že je jednoduché použiť ho tam, kde sa už používajú JUnit testy.

[2] http://arquillian.org/invasion/
[3] http://arquillian.org/invasion/
[4] http://lauri.lehmijoki.net/write-concurrent-java-tests-with-havarunner/
[5] https://github.com/havarunner/havarunner

JExample je testovací pracovný rámec na písanie jednotkových testov, ktoré sú stavané jeden na druhý. Predstavuje vzťah producent-konzument v jednotkových testoch. Producent je testovacia metóda, ktorej test vracia nejakú hodnotu. Konzument je metóda, ktorá závisí od jedného alebo viacerých producentov [6].

Ak producent nejakej metódy zlyhá, tak táto metóda je pri testovaní preskočená. Výstupné hodnoty producentov sú vložené do konzumentov a sú opakovane používané.

JExample je tvorený ako rozšírenie JUnit a je bezproblémovo integrovaný v JUnite aj plugine do Eclipse.

JUnit je jednoduchý testovací pracovný rámec a zároveň základ mnohých ďalších pracovných rámcov, z ktorých sú niektoré spomínané aj v tejto práci. Okrem vlastností vyplývajúcich z toho, že patrí do skupiny xUnit pracovných rámcov umožňuje nastaviť čas pre každý test, po ktorého uplynutí test končí neúspechom, ignorovať testy, spúšťam testy s rôznymi parametrami (parametrizované testy), nastaviť testu očakávanú výnimku a ak vznikne test je akceptovaný, možnosť nastaviť poradie testov a aj testovanie viacvláknových programov [7].

Randoop je testovací pracovný rámec, ktorý automaticky generuje testy v rovnakom formáte ako JUnit. Má rovnaké funkcie ako .NET verzia, o ktorej sa môžete dočítať v predchádzajúcej časti práce.

Sprytest je komerčný nástroj založený na používateľskom rozhraní a výrazne ovplyvňuje tvorbu jednotkových testov. Tvorba testov a nastavovanie mockov, nastavovanie asercií (assertions) sú v ňom rýchle vďaka jednoduchému rozhraniu. Taktiež pomáha zistiť mimovoľné zmeny správania a zjednodušuje izoláciu a opravu chýb [8].

Niektoré z kľúčových vlastností:

- Ľahká konverzia na štandardné JUnit testy.

[6] http://scg.unibe.ch/research/jexample

[7] http://junit.org/

[8] https://marketplace.eclipse.org/content/sprytest

- Zabudované zobrazenie pokrytia kódu, ktoré zobrazuje celú cestu vykonávania.
- Rýchlo vytvára výkonné assercie testov (Test Assertions).
- Bezproblémová synchronizácia medzi testovacími prípadmi a zdrojovým kódom.

TestNG je testovací pracovný rámec inšpirovaný JUnit a NUnit ale prináša aj novú funkcionalitu ako napríklad:

- Spúšťanie testov s rôznymi podmienkami pre vlákna (všetky metódy vo vlastnom vlákne, celá testovacia trieda v jednom vlákne a pod.).
- Testovanie, či program správne funguje aj na viacerých vláknach.
- Flexibilná konfigurácia testov.
- Podpora pre dátovo riadené testovanie.
- Podpora pre parametre.
- Výkonný model vykonávania (žiadne sady testov)
- Podpora rôznych nástrojov a plug-inov.

Je navrhnutý tak, aby pokryl všetky kategórie testov: jednotkové, funkcionálne, integračné, end-to-end. atď.[9]

5.2 Nástroje patriace do skupiny xUnit pre .NET

Fixie patrí k novším pracovný rámcom a umožňujem programátorovi vytvárať a vykonávať jednotkové testovanie. Výhoda, ktorú Fixie prináša, že rozlišovanie metód a tried je na konvencií. Preto programátor pri písaní testu nemusí používať atribúty na označovanie tried a metód. Keď je dodržaná konvencia tak Fixie vie podľa názvu zistiť či ide o metódu alebo triedu. Ak by predvolená konvencia nebola vyhovujúca, je možné vytvoriť si vlastnú a následne sa riadiť ňou. Rozšírenia nemá, ale existujú pluginy do vývojových prostredí. [10]

[9] http://testng.org/doc/index.html

[10] https://visualstudiomagazine.com/articles/2015/04/22/fixie-c-sharp-testing.aspx

MbUnit je rozšíriteľný pracovný rámec, ktorý okrem toho, že prijíma vzory xUnit ide ešte ďalej a poskytuje programátorovi viac, ako napríklad:

- **Porovnávanie XML (XML assertions)** MbUnit obsahuje metódy pomocou, ktorých sa dajú porovnávať aj hodnoty v XML súboroch. [11]
- **Paralelizovateľné testy** Každý test, ktorý je označený ako paralelný bude pri vykonávaní spustený spolu z ostatnými paralelizovateľnými testami[12]. To môže výrazne skrátiť čas potrebný na testovanie, ktorý by mal byť podľa vlastností jednotkového testovania čo najkratší.
- **Externé zdroje dát** Dáta používaného v testoch môžu byť uložené v rôznych typoch súborov (XML, CSV, a pod.) a počas testu používané priamo z nich.

Okrem tohto je MbUnit aj generatívny pracovný rámec, čo znamená že dokáže z jednoduchého jednotkového testu urobiť niekoľko ďalších. Od roku 2013 už, ale nie sú žiadne commity v jeho GitHub repozitári a preto ho môžeme považovať za už nevyvíjaný softvér. [13]

Moq je podľa tvorcov jediná mokovacia knižnica, ktorá je vytváraná od začiatku, tak aby využila naplno výhody .NET Ling (Language-Integrated Query) strom výrazov a lambda výrazy. Funkcie a vlastnosti, ktoré Moq ponúka[14] :

- Strong-typed: no strings for expectations, no object-typed return values or constraints.
- Neprekonaná integrácia s intellisense vo Visual Studio: všetko je plne podporované intellisense vo Visual Studio.
- Žiadne nahraj/prehraj idiómy(jazyk) (No Record/Replay idioms to learn.) na učenie. Stačí vytvoriť mok, nastaviť ho, použíť ho a voliteľne potvrdiť ich volania (netreba

[11] https://vkreynin.wordpress.com/2010/07/18/test/

[12] http://blog.bits-in-motion.com/2009/03/announcing-gallio-and-mbunit-v306.html

[13] http://stackoverflow.com/questions/3678783/mbunit-vs-nunit

[14] https://github.com/Moq/moq4

potvrdzovať mocky, keď vystupujú len ako stuby (stubs) alebo keď sa robí klasickejšie stavovo-založené (state-based) testovnie kontrolovaním navratových hodnôt testovaného objektu).

- Veľmi nízka učiaca krivka (learning curve). Pre väčšinu častí ani netreba čítať dokumentáciu.
- Granulovaná kontrola (granular control) nad správaním mocku s jednoduchou MockBehavior enumeráciou (netreba vedieť teoretické rozdiely medzi mokom, stubom, imitáciou (fake), dynamickým mokom a pod.).
- Je možne mokovať rozhrania aj triedy.
- Override expectations: can set default expectations in a fixture setup, and override as needed on tests.
- Posielať argumenty pre mokované triedy.
- Ohraničiť (Intercept) a vyvolať (raise) akcie (events) na mokoch.
- Intuitívna podpora pre out/ref argumenty.

Vďaka mokom je test rýchlejší a nezávislý od prostredia alebo iných častí systému, lebo netreba komunikovať so skutočnými objektami a teda spĺňa vlastnosti jednotkového testovania.

NUnit je testovací pracovný rámec pre C# a je tým, čím je JUnit pre Javu. Poskytuje tiež možnosť mať rôzne nastavenia pre test a rôzne pre tvorbu programu. Vstupné hodnoty testov môžu byť zadané rôznymi spôsobmi. Buď jednoduchou množinou parametrov, náhodne alebo výberom z daného rozsahu alebo z nejakého externého zdroja pomocou metódy. Pomocou atribútov môžeme ovplyvňovať testovacie prostredie. Môžeme tak deklarovať, že daný mest má bežať na samostatnom vlákne, nemá byť spustený, resp. spúšťať sa bude len manuálne alebo má byť len pre špecifickú platformu[15]. Testy je možné spúšťať aj s

[15] http://www.slideshare.net/ShirBrass/nunit-features-presentation

obmedzeným časom na beh. Po uplynutí stanoveného času je test označený za neúspešný, ale je možné nastaviť, či sa má test okamžite ukončiť alebo sa má nechať dobehnúť [16].

Nbi je doplnok do Nunit pre Microsoft obchodné služby a prístup k dátam (Microsoft Business Intelligence platform and Data Access), ale čiastočne podporuje aj iné platformy[17]. Jeho výhodou je, že netreba vôbec poznať C# alebo mať nainštalované Microsoft Visual Studio lebo testy sa píšu v Xml. Pomocou pracovného rámca sa potom dajú spúšťať aj bez C# kompilátora. Dokáže pracovať s databázovými dotazmi, Etl (Extract, transform, load) balíčkami a aj s viacrozmernými a tabuľkovými modelmi. Testy sa pomocou genbi alebo genbiL dajú generovať aj automaticky. [18] Keďže v prípade Nbi ide do veľkej miery o testovanie databáz vďaka pracovnému rámcu vieme zaručiť aspoň čiastočnú nezávislosť jednotky od okolia, lebo sa nemusíme pripájať na skutočnú databázu na serveri, ale testujeme len na lokálnej.

Pex je v podstate rozšírením Visual Studia a jeho hlavnou funkciou je generovanie testov. Pre každú podmienku, ktorú napíšeme do testu, Pex vytvorí samostatnú vetvu, viackrát spustí program a na základe toho, ktoré vetvy uspeli a neuspeli v testoch vie analyzovať zdrojový kód a vytvoriť ďalšie testy. To môže pomôcť programátorovi nájsť chyby v kóde, ktoré si sám nevšimol. [19] [20]

Randoop.NET je pracovný rámec, ktorý náhodne generuje testy, ale je riadený spätnou väzbou. Testy vytvára inkrementálne, teda každý ďalší je rozšírením predchádzajúceho. Pred rozšírením testu sa daný vygenerovaný test najprv vykoná a vyhodnotí a následne Randoop rozhodne, či má zmysel daný test rozširovať. To znamená, že ak vygeneruje test, ktorý obsahuje nejaké nezmyselné volanie funkcie (napr. nastavMesiac(-1)) tak test označí za nesprávny a už ho rozširovať nebude.

[16] https://lukewickstead.wordpress.com/2013/02/09/howto-nunit-features/
[17] http://www.nbi.io/docs/home/
[18] http://fr.slideshare.net/CdricCharlier1
[19] http://research.microsoft.com/en-us/projects/pex/
[20] http://www.pexforfun.com/Documentation.aspx#HowDoesPexWork

Okrem toho, že Randoop vie fungovať samostatne, generuje testy ako samostatný súbor, ktorý je použiteľný pre ostatné testovacie nástroje a tým sa dá odhaliť viacej chýb a dosiahnuť tak lepší výsledok testovania. [9] Randoop spĺňa vlastnosti jednotkového testovania a okrem toho ešte aj mimo nich prispieva ku skráteniu doby potrebnej na testovanie tým, že sám vygeneruje testy a nemusí ich vytvárať všetky programátor.

Rhino.Mocks je .NET mokovací pracovný rámec veľmi užitočný na vytváranie falošných objektov tak, aby sme testovali len presne to čo chceme a dovoľuje kontrolovať prostredie a stavy v ktorých test prebieha. Poskutuje tri druhy mokov:

- **Presný (strict) mok** Vyžaduje alternatívnu implementáciu pre každú metódu/vlastnosť. Ak nejaká chýba tak vyvolá výnimku.
- **Dynamický mok** Ak neexistuje alternatívna implementácia pre metódu alebo vlastnosť tak vráti predvolenú hodnotu daného typu.
- **Čiastočný (partial) mok** Ak neexistuje alternatívna implementácia tak sa použije implementácia pôvodného (underlying) objektu.

Mokovať je však možné iba virtuálnych členov reálnych tried alebo celé rozhrania. [21]

xUnit.net je voľný, rozšíriteľný, open-source pracovný rámec dizajnovaný pre programátorov [22]. Výhodou je aj, že je veľmi dobre integrovaný do .NET ekosystému a preto sa netreba báť vážnejšieho problému s kompatibilitou [23]. Niekoľko hlavných dôvodov, pre ktoré sa rozhodli autori vytvoriť xUnit.net [24] :

- Samostatné inštancia objektu pre každú triedu. Niektoré pracovné rámce (napr. Nunit) vytvoria najprv inštancie objektov a ničia sa až po skončení všetkých testov. Preto môžu vznikať problémy kvôli nedostatočnej izolácií testov.

[21] http://www.wrightfully.com/using-rhino-mocks-quick-guide-to-generating-mocks-and-stubs/
[22] https://www.pluralsight.com/courses/xunitdotnet-test-framework
[23] http://www.codeproject.com/Articles/1011753/Moving-to-xUnit-net
[24] https://xunit.github.io/docs/why-did-we-build-xunit-1.0.html

- Žiadne [SetUp] alebo [TearDown] metódy. Tie sa vykonávajú vždy pred testom, resp. po teste, ale spôsobovali problémy a preto sa tvorcovia xUnit.net rozhodli nevytvoriť žiadnu vstavanú podporu pre tieto metódy.

- Nezávislý spúšťač testov. Všetky spúšťače sú nezávislé od verzie a teda akýmkoľvek xUnit.net spúšťačom testov je možné spustí minulé, ale aj budúce testy.

- Rozšíriteľnosť testovacej triedy. Testovacia je trieda je rozšíriteľná napríklad o testy z Nunitu pomocou atribútu [RunWithNUnit].

5.3 Porovnanie vlastností pracovných rámcov patriacich do skupiny xUnit s ideálnym pracovným rámcom

Všetky pracovné rámce testujú funkčnosť a sú písané v jazyku podobnom alebo rovnakom ako aj zdrový kód okrem pracovného rámca Nbi, ktorý je písaný v jazyku XML. Frameworky v skupine xUnit musia vedieť rozdeľovať testy do kategórií tak táto vlastnoť je splnená pri všetkých, aj keď v praxi sa môžu vyskytnúť rôzne aplikácie tejto vlastnosti. Okrem MbUnit, Pex, Randoop a Randoop.NET pracovné rámce nie sú generatívne a teda treba všetky testy písať manuálne. JExample používa v testovaní vzťah viacerých tried a preto by sa už je možné ho zaradiť niekam na hranu medzi jednotkovým a integračným testovaním.

K časovej réžií nie je možné sa vyjadriť bez praktického testovania a preto túto vlastnosť pracovných rámcov pri tomto hodnotení zanedbávame.

Podľa podobnosti s ideálnym pracovným rámcom by som za najlepší označil Randoop(resp. Randoop.NET), pretože patrí ku generatívnym pracovným rámcom, stále sa vyvíja a venujú sa mu aj rôzne vedecké práce. Hneď za neho by som zaradil pracovné rámce TestNG, JUnit, NUnit, xUnit.net pretože sú populárne, každý z nich priniesol niečo nové do jednotkového testovania. Na základe zatiaľ získaných informácií ich podľa mňa nie je zatiaľ možné objektívne zoradiť a určiť, ktorý je lepší alebo horší.

6 Testovanie

6.1 Apache Maven

Celý java projekt, v ktorom prebiehala implementácia testov aj tried na testovanie využíva nástroj Apache Maven. Je to nástroj na spravovanie a porozumenie softvérových projektov[25]. Je založený na POM (Project Object Model) a teda sumarizuje indormácie potrebné ku kompilácií, testom, dokumentácií a pod. na jednom mieste. Taktiež čiastočne automatizuje kompiláciu projektov, pretože pre každý podprojekt v rámci väčšieho projektu môže byť vytvorený vlastný POM súbor, ktorý stačí vytvoriť raz a pri ďalších spúšťaniach sa už o nič nemusí starať, lebo sa to automaticky vykoná za neho.

POM súbor obsahuje informácie o závislostiach na rôznych knižniciach (knižnice môžu mať závislosť ja v obmedzenom rozsahu, napr. len na testovanie), použitých zásuvných moduloch a samozrejme základné informácie o projekt ako napr. názov, zaradenie v balíku a podobne.

Maven projekt sa dá vytvoriť buď vo vývojom prostredí alebo aj vygenerovať cez príkazový riadok.

6.2 Tvorba testov

Testy sme vytvárali generovaním pracovným rámcom Randoop. Pre objektívne porovnanie časovej náročnosti je potrebné, aby sme mali testy pre všetky pracovné rámce čo najpodobnejšie. Randoop je jediný, ktorý testy automaticky generuje a preto sme zvolili postup vygenerovať testy a následne z 59 vygenerovaných vybrať 15, ktoré pokrývajú všetky základné prípady. Triedy sú napísane tak, aby výpočet trval na testovacom zariadení niečo pod 1 sekundu. Dôvodom, prečo je výpočet taký dlhý je, aby sa lepšie ukázali časové rozdiely ak sa nejaké objavia. A z časového hľadiska sme preto zvolili 15 testov ako kompromis medzi rýchlosťou a čo najlepším otestovaním. Náš cieľ to nijako neovplyvňuje, pretože nie je naším cieľom otestovať triedy zdrojového kódu, ale slúžia nám ako prostriedok na porovnanie pracovných rámcov na testovanie.

[25] https://maven.apache.org/

Testovacie triedy pre ostatné pracovné rámce, boli vytvorené skopírovaním tela metód (zachovávali sme aj názov testu) a všetko ostatné bolo prispôsobené potrebám daného pracovného rámca. Väčšina testovaných bola podobne ako aj Randoop iba rozšírením JUnit-u a preto sa zmeny týkali iba pridania vlastného spúšťača testov, prípadne vlastných anotácií. Pre TestNG testy bolo treba nahradiť importovanie príslušných tried. Pracovný rámec Arquillian má špeciálnu vlastnosť, že len s minimálnou zmenou dokáže byť spúšťaný ako JUnit alebo ako TestNG test. Pre spúšťanie ako TestNG test musí rozširovať triedu org.jboss.arquillian.testng.Arquillian.

Do testov boli nakoniec ešte pridané v prípade JUnit testov anotácie, aby bežali testy v abecednom poradí podľa názvu metód a v prípade TestNG testov to bolo zabezpečené nastavením priority. Toto opatrenie nebolo nevyhnutné, ale na priebeh testov nemá žiaden vplyv a uľahčuje to následné vyhodnocovanie, keď vieme, že boli spúšťané vždy v tom istom poradí.

6.3 Priebeh testovania

6.3.1 Sekvenčné testovanie

Všetky triedy testov boli spúšťané 100-krát a volané z triedy pomocou príslušných metód podľa toho, ku ktorému pracovnému rámcu patrili. Do súboru boli zaznamenávané jednotlivo časy každej metódy a aj celkový čas.

JExample pri opakovanom spúšťaní vždy končil s inicializačnou chybou, preto bol otestovaný len na 10 behoch, tak že sa vždy spúšťal iba raz.

6.3.2 Paralelné testovanie

Pri paralelnom testovaní sme sledovali len časy celých tried, pretože časy metód zisťované rovnakým spôsobom ako pri sekvenčnom testovaní neboli relevantné.

Triedy patriace k JUnit-u spúšťané triedou org.junit.experimental.ParallelComputer. Vzhľadom na to, že trieda neposkytuje možnosť nastaviť použitý počet vlákien, nie je úplne jasná konfigurácia, ale keďže boli testy púšťané na počítači so 4-vláknovým procesorom môžeme predpokladať, že boli použité práve 4 vlákna.

Pri TestNG pracovných rámcoch je možné nastaviť konfiguráciu pri paralelnom spúšťaní testov. Použitá bola paralelizácia na úrovni metód (na úrovni tried by nemala význam, pretože sme testovali naraz vždy len jednu triedu). Testy boli spúšťané s počtami vlákien 2, 4 a 8. Pracovný rámec Arquillian mal problém pri spúšťaní TestNG testov paralelne. Výnimka nastávala v triede označenej anotáciou @BeforeClass a tá nebola nami implementovaná, preto bol z paralelných testov vylúčený.

6.4 Náročnosť syntaxe pracovných rámcov

Základnými pracovnými rámcami na jednotkové testovanie pre Javu sú JUnit a TestNG. Medzi testovanými sú tieto dva pracovné rámce a ostatné sú nejakým rozšírením aspoň jedného z nich. Vzhľadom na túto naviazanosť pracovných rámcov na dva základné je aj syntax všetkých testovaných pracovných rámcoch veľmi podobná alebo až identická.

Výraznejšie rozdiely v zdrojovom kóde boli len pri Arquilliane, lebo sa tam vytvárala zostava (deployment). Nebolo to nevyhnutné, ale pokiaľ nebola vytvorená tak pri spúšťaní testov sa zobrazovalo upozornenie, že zostava nie je vytvorená. Okrem tohto Arquillian vyžaduje, aby bol súčasťou Maven projektu, pretože má veľa závislostí na iných knižniciach a spravovať ich manuálne by bolo nepraktické a natoľko náročné, že by ako pracovný rámec bol úplne nepoužiteľný. Keďže sa v podstate všetko potrebné vygeneruje a aj závislosti sa dajú pridávať cez vývojové prostredie, nie je potrebné učiť sa syntax súborov využívaných Maven projektom, aj keď poznať štruktúru pom.xml súboru je výhodou.

Svoje špecifikum má aj Randoop. Je jediný z vybraných pracovných rámcov, ktorý dokáže automaticky generovať jednotkové testy. Je vytváraný ako program bez grafického používateľského rozhrania a preto je potrebné na jeho plnohodnotné používanie poznať príkazový riadok systému a aj prepínače Randoopu na prispôsobenie generovania testov a taktiež výber tried, ktoré majú byť týmito testami testované.

Ak by sme to chceli zhrnúť tak môžeme povedať, že vo všetkých pracovných rámcoch je náročnosť na tvorbu testov rovnaká, okrem Arquillianu a Randoopu, ale náročnejšie funkcie na použitie sú také, ktoré nám ostatné pracovné rámce neposkytujú. Preto môžeme povedať, že v tomto aspekte sa nelíšia.

6.5 Prehľadnosť

Prehľadnosť zdrojových kódov testov je veľmi podobná. Rozdiel je v niektorých špecifických nastaveniach, ktoré nemusia súvisieť priamo so zdrojovým kódom testov. Všetky rámce podporujú konfiguráciu rôznych aspektov testovanie na úrovni metód aj tried rôznymi anotáciami. Okrem toho TestNG testy dokážu využívať aj konfiguračný xml súbor a oddeliť tak konfiguráciu testovania od zdrojového kódu testov, čo môže pri komplikovanejších konfiguráciách výrazne sprehľadniť zdrojový kód testov. Okrem toho, keď je celá konfigurácia samostatne jednoduchšie sa v nej orientuje a ľahšie testy konfigurujú podľa predstáv testera, prípadne sa ľahšie upravujú zmeny pred novým behom testov.

6.6 Univerzálnosť

Väčšina pracovných rámcov podporuje testy len z jedného z dvojice hlavných (JUnit alebo TestNG). Výnimkou je len Arqullian, ktorý dokáže len s minimálnou zmenou pracovať ako JUnit aj ako TestNG test. TestNG dokáže púšťať aj JUnit testy bez toho, aby sa na nich muselo čokoľvek meniť, ale je treba vytvoriť xml konfiguračný súbor s definovanými triedami, ktoré chceme spúšťať a musia byť označené ako JUnit testy. TestNG potom používa org.junit.runner.JUnitCore na spúšťanie týchto tried testov.

6.7 Správa spúšťania testov

Všetky pracovné rámce poskytujú možnosť vytvoriť si skupiny testov, z ktoré dokážu spúšťať spolu tie testy, ktoré chceme. Pracovné rámce založené na JUnite využívajú na to triedu, v ktorej sú vymenované triedy testov, ktoré sa majú spúšťať a okrem toho je možné ešte aj každú z týchto tried rozdeliť do kategórií a zahŕňať do testovania, resp. vynechať z testovania jednotlivé kategórie. TestNG využíva na vytváranie skupín testov, ktoré sa majú spúšťať konfiguračný xml súbor, kde si môžeme takisto špecifikovať, ktoré testy chceme spúšťať presne podľa našich požiadaviek. Treťou možnosťou ako ovplyvniť, čo všetko sa bude testovať je spúšťanie testov prostredníctvom Mavenu. V pom.xml súbore sa dajú vyberať jednotlivé skupiny testov a testy v zdrojovom kóde vieme pomocou anotácií jednoducho zadeliť do potrebných skupín. Obdobne vieme využívať aj kategórie pri testovaní

JUnit.

Automatická selekcia testov, ktoré sa budú spúšťať nie je implementovaná v žiadnom z testovaných pracovných rámcov.

6.8 Zobrazenie výsledkov

Pracovné rámce nepoužívajú samostatné zobrazenie výsledkov a spoliehajú sa na zobrazovanie poskytované východiskovými. Grafické zobrazenie vo vývojom prostredí je na zrovnateľnej úrovni, s veľmi podobnou štruktúrou aj grafikou. Testovanie bolo vykonávané v prostredí Eclipse .Mars2 a použité boli zásuvné moduly pre JUnit a TestNG s odkazov na oficiálnych stránkach určené pre toto prostredie. Toto zobrazenie nie je priamo naviazané na pracovné rámce a ťažko preto objektívne zhodnotiť tieto zobrazenia, pretože sú závislé od pracovného prostredia, ktoré používa tester a nie až tak od konkrétneho pracovného rámca. Rozdiel medzi TestNG a JUnit bol vo výpise výsledkov testov do konzoly. Kým TestNG poskytoval pomerne podrobné informácie aj v konzole, JUnit nevypisoval do konzoly nič. (neviem ako zistiť či je to pluginom alebo je to integrované priamo vo frameworku)

6.9 Automatické generovanie testov

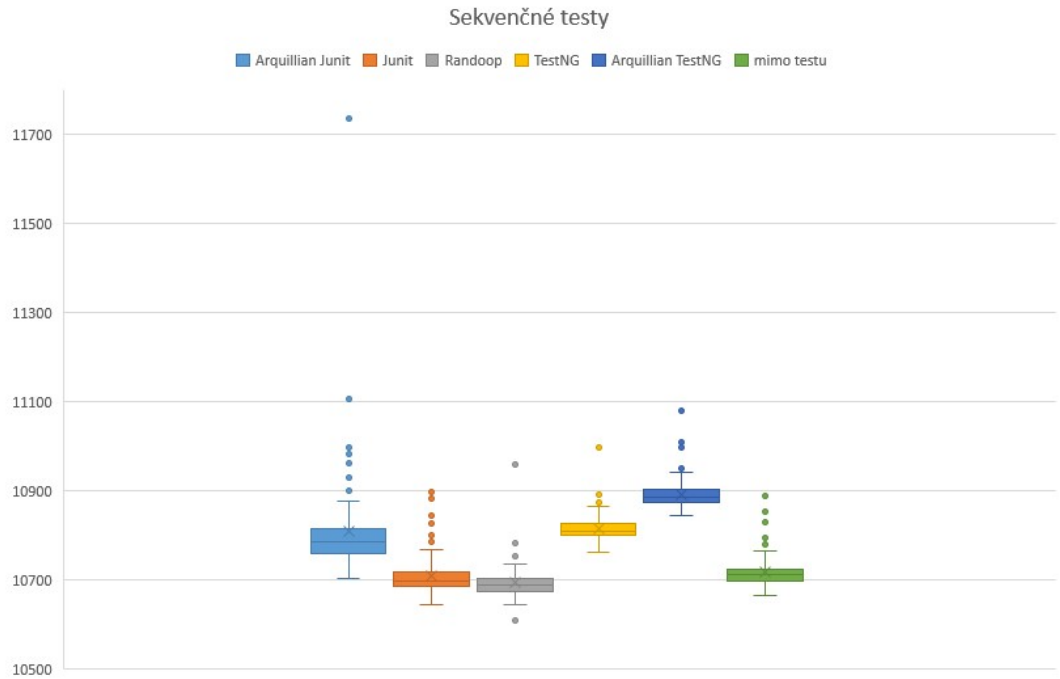
Jediný z vybraných pracovných rámcov poskytujúci automatické generovanie testov je Randoop. Sám o sebe nemá grafické prostredie, aj keď na internete sú dostupné zásuvné moduly umožňujúce spustiť generovanie testov aj priamo z vývojové prostredia. Avšak tieto zásuvné moduly sú staré už niekoľko rokov a novšie sa nám nepodarilo nájsť ani na stránkach vývojárov Randoop. Pre účely tejto práce boli preto testy generované z príkazového riadku, aby sme mohli použiť najnovšiu verziu pracovného rámca a nerobili štúdiu s použitím zastaralého softvéru. Tvorba testov je bližšie popísaná v časti *Tvorba testov*.

6.10 Časová réžia pracovných rámcov

Počas testovania boli merané časy jednotlivých metód, rozdiel času pred prvou a po poslednej testovacej metóde a aj rozdiel času pred a po zavolaní spúšťača testu na danú triedu. V grafoch nižšie je zobrazené porovnanie časov pred zavolaním spúšťača a po jeho ukon-

čení. Tento čas bol vybraný preto, lebo zahŕňa všetku časovú réžiu okolo spúšťania testov a rozdiel oproti súčtu času jednotlivých metód a rozdielu času pred prvou a poslednou je minimálny (rozdiel v priemerných časoch aj mediáne bol do 20 ms, čo je pri dĺžke testu nad 10000 ms zanedbateľná hodnota). Vyššie rozdiely mali len pracovné rámce TestNG a Arquillian spúšťaný ako TestNG test. Z toho vyplýva, že TestNG spúšťač testov má väčšiu réžiu ako JUnit spúšťač.(môžno by bolo dobré ešte pridať graf na porovnanie rozdielu oproti ostatným)

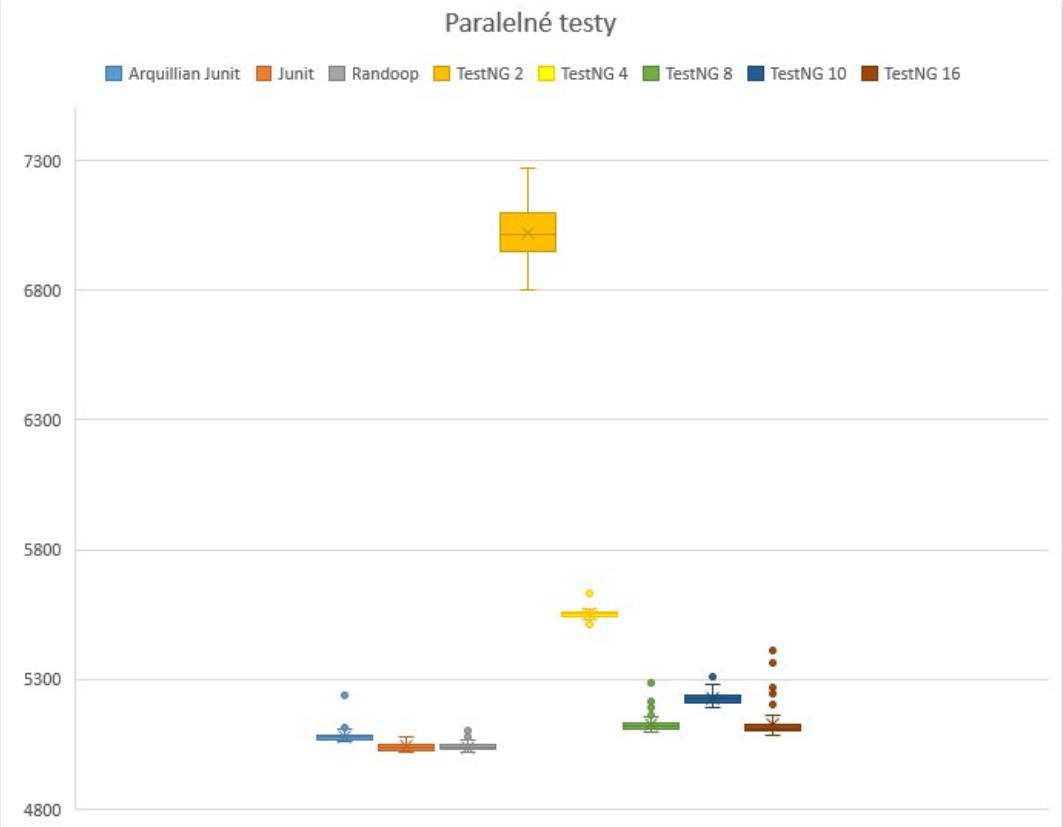
Pri sekvenčných testoch je evidentné, že testy sú čo sa týka času veľmi podobné (Obr. 1). Čisté JUnit test bez nejako rozšírenia sú na rovnakej úrovni ako vykonávanie tried mimo testu a dokonca aj o niečo rýchlejšie. To môže byť spôsobené chybou merania, pretože neviem zabezpečiť, aby operačný systém na počítači nevykonával aj iné úlohy na pozadí, ktoré môžu mať vplyv na výkon aj keď sme sa snažili tieto nežiadúce vplyvy čo najviac eliminovať. O niečo horšie, ale bez výrazného rozdielu, je na tom Arquillian spúšťaný oboma pracovnými rámcami a samotný TestNG.



Obr. 1. Výsledky sekvenčných testov

Výsledky paralelných testov (Obr. 2) ukazujú presne tie isté výsledky a teda opäť sú

na tom najlepšie JUnit pracovné rámce a o niečo horšie Arquillian a TestNG. Pri paralelných testoch je ešte dôležité si všimnúť, že najlepšie časy malo vykonávať testov v 8 a 16 vláknach (procesor počítača, na ktorom prebiehali testy má 2 jadrá a 4 vlákna). Pri iných počtoch jadier, na ktorých boli testy spúšťané boli časy horšie, čo naznačuje, že je okolo testov dosť réžie, pretože najlepšie využitie bolo až pri 8 vláknach. Keby tam táto réžia nebola a išlo by len o výpočet najlepšie časy by sme dosahovali pri 2, resp. 4 vláknach.



Obr. 2. Výsledky paralelných testov

7 Ciele a záver práce

V práci sme analyzovali testovanie softvéru a zamerali sme sa na analyzovanie jednotkového testovania. Analýzou vlastností jednotkového testovania sa nám podarilo vytvoriť teoretický koncept ideálneho pracovného rámca pre jednotkové testovanie. Snažili sme sa vlastnosti určovať tak, aby sme hovorili o uskutočniteľných vlastnostiach, resp. už skutočných vlastnostiach, ale zatiaľ nie spojených do jedného pracovného rámca, a nebolo to niečo nemožné v realite. Tieto vlastnosti sme porovnali s dostupnými informáciami o vlastnostiach niekoľkých existujúcich pracovných rámcov zo skupiny xUnit. Vybrali sme viacero pracovných rámcov pre jazyk C# a aj viacero pre jazyk Java. Vlastnosti týchto pracovných rámcov sme porovnali s vlastnosťami ideálne pracovného rámca. Zhodnotili sme, ktoré vlastnosti pracovné rámce implementujú a ktoré naopak ešte nie alebo ich implementujú len čiastočne. Na základe zhodnotenia sme potom vedeli určiť, ktorý pracovný rámec má najviac spoločných vlastností s ideálnym a teda má k nemu najbližšie. Aj pre jazyk C# aj pre jazyk Java bol najlepší pracovný rámec Randoop, resp. Randoop.NET.

Cieľom našej práce je vytvoriť projekt v takom rozsahu, aby sme mohli otestovať a zhodnotiť tento pracovný rámec aj v skutočnosti. Našim cieľom je vyskúšať vlastnosti tie vlastnosti pracovného rámca, o ktorých sa v práci diskutuje. Na jednom projekte sa nám pravdepodobne nepodarí do hĺbky otestovať všetky jeho vlastnosti, ale chceme otestovať každú aspoň čiastočne a tie pri ktorých to bude možné aj do hĺbky. Vzhľadom na to, že projekt ešte nemáme špecifikovaný nevieme konkretizovať ktoré vlastnosti a ako bude možné otestovať. Testovať budem pracovné rámce Randoop a Randoop.NET a projekt bude implementovaný v oboch jazykoch (C#, Java).

8 Časový plán do odovzdania práce v letnom semestri

- **december 2015** - špecifikácia projektu, na ktorom budem implementovať testovanie
- **január a február 2016** - implementácia projektu, implementácia testov vo vybraných pracovných rámcoch
- **marec 2016** - testovanie projektu pracovnými rámcami a zhromažďovanie výsledkov testov pre účely zhodnotenia
- **apríl 2016** - zhodnotenie a porovnávanie pracovných rámcov
- **máj 2016** - dokončovanie práce a odovzdanie do 10.5.2016

Literatúra

[1] Enrique Alba and Francisco Chicano. Observations in using parallel and sequential evolutionary algorithms for automatic software testing. *Computers & Operations Research*, 35(10):3161–3183, 2008.

[2] Amiangshu Bosu, Michaela Greiler, and Christian Bird. Characteristics of Useful Code Reviews: An Empirical Study at Microsoft. *2015 IEEE/ACM 12th Working Conference on Mining Software Repositories*, pages 146–156, 2015.

[3] Johannes Brauer. *Programming Smalltalk – Object-Orientation from the Beginning*.

[4] Standard Computer Dictionary. *Standard Computer Dictionary*.

[5] Elfriede Dustin. *Effective Software Testing: 50 specific ways to improve your testing*. 2002.

[6] Cem Kaner. Exploratory Testing. *Quality Assurance International*, (c), 2006.

[7] A.A. Omar;F.A. Moha. A survey of software functional testing methods. *Software Engineering Notes*, page 75, 1991.

[8] Glenford J. Myers, Tom Badgett, and Corey Sandler. *The Art of Software Testing*.

[9] Carlos Pacheco, Shuvendu K. Lahiri, Michael D. Ernst, and Thomas Ball. Feedback-directed random test generation. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, pages 75–84, 2007.

[10] P Runeson. A survey of unit testing practices. *IEEE Software*, 23(4):22–29, 2006.

[11] E. V Veenendaal. Standard glossary of terms used in Software Testing, Version 1.2. *International Software Testing Qualification Board*, 1:1–51, 2010.

[12] Wang Wei. From source code analysis to static software testing. *2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, pages 1280–1283, 2014.