

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATEMATIKY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATHEMATICS

MATEMATICKÝ MODEL VÝSKYTU ZÁVAD NA VYBRANÝCH STANICÍCH MONTÁŽNÍ LINKY MOTORŮ

MATHEMATICAL MODEL OF DEFECT FREQUENCY ON SELECTED STATIONS OF ENGINE
ASSEMBLY LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MINISTR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. RNDr. BOHUMIL MAROŠ, CSc

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO
uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Martin Ministr
Bytem: Masarykovo náměstí 52, 75103, Brodek u Přerova
Narozen (datum a místo): 19. 6. 1984, Přerov
(dále jen autor)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství
se sídlem Technická 2896/2, 61669, Brno - Královo Pole
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
...
(dále jen nabyvatel)

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Matematický model výskytu závad na vybraných stanicích montážní linky motorů
Vedoucí/ školitel VŠKP: Doc. RNDr. Bohumil Maroš, CSc
Ústav: Ústav matematiky
Datum obhajoby VŠKP: 19. 6. 2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v¹:

- tištěné formě — počet exemplářů 2
- elektronické formě — počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

¹hodící se zaškrtněte

Čl. 2 Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením §47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Čl. 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

Nabyvatel

Autor

Abstrakt

Ve všech odvětvích strojírenského průmyslu jsou důležité složky kvality a zmetkovitosti výroby. Na jejich zlepšení je mnoho účinných nástrojů, a jeden z nich je i popisná statistika.

Popisná statistika má mnoho použitelných nástrojů, ale tato práce se zaměřuje hlavně na popis výroby pomocí nákresu časového průběhu, testování statistických hypotéz, testování vzájemné závislosti jednotlivých závad a nákresu kontrolních diagramů.

Jedná se o projekt, který propojuje praxi s teorií.

Summary

The quality and the defectiveness of production are important factors in all sectors of engineering industry. On their improve there are a lot of effective tools, descriptive statistics is one of them.

Descriptive statistics has many applicable tools but this work primarily focuses on description of production using time series plot, testing of statistical hypotheses, testing of mutual dependencies of particular defects and control diagrams drawing.

It is about a project that connects practice with theory.

Klíčová slova

Popisná statistika, pravděpodobnost, jakost, testy hypotéz, pseudochyby stanice

Keywords

Descriptive statistics, probability, quality, tests of hypothesis, pseudomistake of station

MINISTR, M. *Matematický model výskytu závad na vybraných stanicích montážní linky motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 58 s. Vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Bohumil Maroš, CSc.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Matematický model výskytu závad na vybraných stanicích montážní linky motorů* vypracoval samostatně pod vedením Doc. RNDr. Bohumila Maroše, CSc. s použitím materiálů uvedených v seznamu literatury.

Martin Ministr

Děkuji svému školiteli Doc. RNDr. Bohumilu Marošovi, CSc. za vedení mé diplomové práce a dále děkuji Ing. Petrovi Vodičkovi Ph.D. za spolupráci při tvorbě mé diplomové práce v rámci spolupráce na této diplomové práci s podnikem Škoda Auto a. s.

Martin Ministr

Obsah

1	Seznam použitého označení	3
2	Úvod	5
3	Zpracovávaná linka	6
3.1	Cesta Rumpf motoru po lince	6
3.1.1	Stanice 2120	6
3.1.2	Stanice 2240	7
3.1.3	Stanice 2260	7
3.1.4	Stanice 2320	8
3.1.5	Stanice 2440	8
3.1.6	Stanice 2500	8
3.1.7	Stanice 2750	9
4	Použité statistické nástroje	10
4.1	Základní pojmy	10
4.1.1	Jednorozměrný statistický soubor s kvantitativním znakem	11
4.2	Nákres časové řady	13
4.3	Testování statistických hypotéz	14
4.4	Vzájemná závislost závad	20
4.4.1	Čtyřpolní tabulky	21
4.4.2	Fisherův faktoriálový test	22
4.5	Kontrolní diagramy	24
5	Výsledky	28
5.1	Nákres časové řady	28
5.1.1	Stanice 2120	28
5.1.2	Stanice 2240	28
5.1.3	Stanice 2260	29
5.1.4	Stanice 2260new	30
5.1.5	Stanice 2320	30
5.1.6	Stanice 2440	31
5.1.7	Stanice 2500	32
5.1.8	Stanice 2750	32
5.2	Testování statistických hypotéz	34
5.2.1	Stanice 2120	34
5.2.2	Stanice 2240	35
5.2.3	Stanice 2260	36
5.2.4	Stanice 2320	37
5.2.5	Stanice 2440	39
5.2.6	Stanice 2500	39
5.2.7	Stanice 2750	41
5.3	Vzájemná závislost závad	42
5.3.1	Stanice 2120	42
5.3.2	Stanice 2240	42
5.3.3	Stanice 2320	44

5.3.4	Stanice 2500	46
5.4	Kontrolní diagramy	48
5.4.1	Stanice 2120	49
5.4.2	Stanice 2240	49
5.4.3	Stanice 2260	49
5.4.4	Stanice 2320	49
5.4.5	Stanice 2440	49
5.4.6	Stanice 2500	49
5.4.7	Stanice 2750	50
6	Diskuse výsledků	51
6.1	Stanice 2120	51
6.2	Stanice 2240	51
6.3	Stanice 2260	51
6.4	Stanice 2320	52
6.5	Stanice 2440	53
6.6	Stanice 2500	53
6.7	Stanice 2750	54
7	Závěr	55
8	Literatura	57
9	Seznam příloh	58

1 Seznam použitého označení

<i>RUMPF</i>	název zpracovávané linky
<i>2V</i>	označení pro 2-ventilové motory
<i>4V</i>	označení pro 4-ventilové motory
<i>OK</i>	označení bezchybné položky
<i>NOK</i>	označení chybné položky
<i>Nexum</i>	název databáze, z které byla získána data
<i>Skutečné opravy</i>	kontrolovaná položka - pro více stanic
<i>KxxPxx</i>	kontrolovaná položka - dotažení šroubu - liší se dle konkrétní stanice
<i>KolbenTyp1 . . . KolbenTyp3</i>	kontrolovaná položka na stanici 2120
<i>KolbenLag1 . . . KolbenLag3</i>	kontrolovaná položka na stanici 2120
<i>HuelseVorh</i>	kontrolovaná položka na stanici 2120
<i>Wenden</i>	kontrolovaná položka na stanici 2120
<i>Skupina</i>	množina kontrolovaných položek na stanici 2120
<i>KontrPIDk1 . . . KontrPIDk3</i>	kontrolovaná položka na stanici 2240
<i>KontrLgSc1 . . . KontrLgSc3</i>	kontrolovaná položka na stanici 2240
<i>DossierMg</i>	kontrolovaná položka na stanici 2260
<i>DossierMgNew</i>	kontrolovaná položka na stanici 2260 po úpravě
<i>Dichtg</i>	kontrolovaná položka na stanici 2440
<i>RSH1-Lage . . . RSH12-Lage</i>	kontrolované položky na stanici 2500
<i>RSH1-typ . . . RSH12-typ</i>	kontrolované položky na stanici 2500
<i>KontrRSH</i>	kontrolovaná položka na stanici 2500
<i>KontrDMA</i>	kontrolovaná položka na stanici 2500
<i>Dossiermeng</i>	kontrolovaná položka na stanici 2500
<i>Dávka</i>	kontrolované položky na stanici 2750
<i>Tmelení</i>	kontrolovaná položka na stanici 2750
<i>Blatník</i>	kontrolovaná položka na stanici 2750
<i>Olejobávání</i>	kontrolovaná položka na stanici 2750
x_i	pozorovaná hodnota znaku X u i-té statistické jednotky
$x_{(i)}$	i-tá nejmenší pozorovaná hodnota znaku X
n	počet pozorovaných hodnot statistického souboru
m, r, s	počet tříd roztržiděného statistického souboru
h	délka třídy roztržiděného statistického souboru
$x_{(i)}^*$	střed i-té třídy roztržiděného statistického souboru
f_i	absolutní četnost i-té třídy roztržiděného statistického souboru
F_i	kumulativní absolutní četnost i-té třídy roztržiděného statistického souboru
\bar{x}	aritmetický průměr pozorované hodnoty X
w_i	váha i-té statistické jednotky
\tilde{x}	medián pozorované hodnoty X
\hat{x}	modus pozorované hodnoty X
s^2, \hat{s}^2	výběrový rozptyl pozorované hodnoty X

s	směrodatná odchylka pozorované hodnoty X
ϑ	obecný parametr pozorované hodnoty X
ϑ_0	hodnota obecného parametru pozorované hodnoty X
$F(x, \vartheta)$	distribuční funkce pozorované hodnoty X
$F(x, y, \vartheta)$	simultánní distribuční funkce pozorované hodnoty X
H, H_0, H_0	statistická hypotéza
\bar{H}, H_1, H_A, H_A	alternativní hypotéza
α	hladina významnosti testu statistické hypotézy
$T(X_1, \dots, X_n)$	obecná statistika
W_α	oblast kritického oboru, chyba prvního druhu
\bar{W}_α	oblast doplňku kritického oboru
t	hodnota testového kritéria
β	chyba druhého druhu
t_1, t_2	kritické hodnoty
μ	střední hodnota
σ^2	rozptyl
k	počet stupňů volnosti
$t_{1-\alpha/2}$	$1 - \alpha/2$ - kvantil Studentova rozdělení
χ_p^2	P - kvantil Pearsonova rozdělení
$F_{1-\alpha/2}$	$1 - \alpha/2$ - kvantil Fisherova - Snedecerova rozdělení
p	pravděpodobnost výskytu nějakého jevu
$u_{1-\alpha/2}$	$1 - \alpha/2$ - kvantil normálního rozdělení
$n_{i.}, n_{.j}$	marginální četnost
χ^2	testová charakteristika χ - kvadrát
f	počet stupňů volnosti testové charakteristiky χ - kvadrát
β	teoretická interakce ve čtyřpolních tabulkách
b	interakce ve čtyřpolních tabulkách
δ	teoretická logaritmická interakce ve čtyřpolních tabulkách
d	logaritmická interakce ve čtyřpolních tabulkách
$\phi(u)$	distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

2 Úvod

Statistika se zabývá studiem dat popisujících existující variabilitu a hodnocením hypotéz tato data vysvětlujících. Slovo *statistika* pochází z latinského „status“ (stav). Původně statistika sloužila pouze k zjišťování konkrétního okamžitého stavu. Později se působnost statistiky značně rozšířila a stala se i vysoce propracovanou vědeckou naukou.

Dnes se pod pojmem statistika skrývají dva vědecké obory, a to popisná statistika (získávání údajů, číselné a grafické zpracování datových souborů) a matematická statistika (odhady parametrů, testy hypotéz, ...).

Statistické zkoumání má několik etap. První etapou statistického zkoumání je *statistické zjišťování*. Tím získáváme *statistické údaje* které popisují sledované statistické znaky. Druhou etapou získané soubory *třídíme* a *shrnujeme*. Nakonec provádíme *vyhodnocování* a *rozbor* získaných statistických údajů pomocí vhodných statistických metod. Na to pak navazuje *aplikace výsledků* do praxe.

Výsledky jsou počítány pomocí programu MINITAB 14. Dále byl použit program Maple 8 pro výpočet ukázky ručního výpočtu. Samotná diplomová práce byla sepsána pomocí programu L^AT_EX.

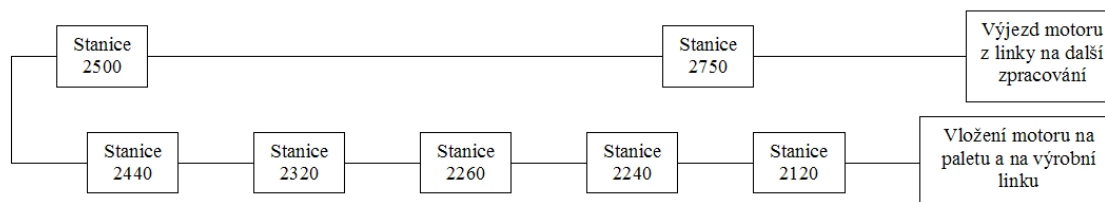
3 Zpracovávaná linka

Linka RUMPF motorů vyrábí benzinové motory o zdvihovém objemu 1,2L. RUMPF motory jsou tříválce, a to buď se dvěma nebo čtyřmi ventily na válec (dále 2V, resp. 4V). Tyto motory jsou dále instalovány buď do vozidel Škoda, nebo dále distribuovány dalším výrobcům v koncernu Volkswagen.

Po lince se motor pohybuje na paletě s čipem, který nese informaci o výrobním čísle motoru. V tomto výrobním čísle motoru je skryta informace o počtu ventilů daného motoru. V každé stanici výrobní linky se načítají informace z tohoto čipu a jdou zároveň s informacemi z této výrobní linky (čas a stavu provedených operací) do systému *Nexum*. Systém *Nexum* tyto informace archivuje ve formě databáze a poskytuje je dále případným uživatelům, vznesou-li dotaz.

Data se jednotlivě třídí dle potřeby v programu *Excel*. Dle potřeby chybnou položku u daného motoru značíme 1, položku bez chyby 0.

3.1 Cesta Rumpf motoru po lince



OBRÁZEK 1: SCHÉMA LINKY RUMPF MOTORŮ

Zjednodušenou cestu RUMPF motoru po výrobní lince vydáme na obr. 1. Nejprve se naloží blok motoru na paletu a demontuje se jeho spodní díl. Dále dojde k otočení bloku motoru na paletě. Zlomí se ojnice a kompletují se ojniční písty, které se do bloku motoru založí spolu s pouzdry.

3.1.1 Stanice 2120

Tato stanice provádí kontrolní a manipulační činnosti.

KolbenTyp1 ... KolbenTyp3 - kamerová kontrola typu pístu. Stanice kamerou kontroluje polohu specifických bodů na pístu a spolu s informací o motoru z čipu zhodnotí, jestli jsou pro daný typ motoru založeny vhodné typy pístů. Pokud dané body nezaznamená v předem stanoveném prostoru, je motor prohlášen za chybný (značí jej NOK).

KolbenLag1 ... KolbenLag3 - kamerová kontrola polohy pístu. Správná poloha pístů je důležitá kvůli dalším operacím prováděným na lince. Stanice kamerou kontroluje polohu specifických bodů na pístu. Pokud daný bod nezaznamená v předem stanoveném prostoru, je motor prohlášen za NOK.

Huelse Vorh - kamerová kontrola přítomnosti pouzder. Pokud kontrola zjistí, že pouzdra chybí, je motor ohlášen za NOK.

Wenden - pokud je vše označeno jako správné (dále jen OK), tak dojde k otočení motoru a položka *Wenden* je označena jako OK.

Skutečné opravy - byly zjišťovány z protokolů přiložených k operátorovi na dané stanici.

Pozorovací období na této stanici bylo 22. 6. 2007 - 26. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

Skupina - Po celou dobu experimentu byla zjevná 100% závislost mezi závadami KolbenTyp1 . . . 3, KolbenLag1 . . . 3 a Wenden. Proto pro zjednodušení bylo pro tyto položky zavedeno toto zjednodušené označení. Položka HuelseVorh se od skupiny odlišuje, zůstane proto i nadále zachována.

Dále dochází k dotažení ojnic a založení vyvažováku.

3.1.2 Stanice 2240

Tato stanice provádí kontrolní i montážní činnost.

KontrPIDk1 . . . KontrPIDk3 - kontrola správného sesazení vík a táhel jednotlivých ojnic. Stanice pomocí barevného snímače kontroluje barvu na bocích ojnic. Ojnice se značí před roztržením na jedné straně jednou ze tří barev. To se děje z důvodu zamezení záměněny jednotlivých vík a ojnic a zároveň proti jejich přetočení. Jelikož jde o roztržení, vzniká na každém víku ojnice specifická ploška, která zvyšuje pevnost, jsou-li ojnice správně sesazeny, ale zároveň ji snižuje a zapříčiňuje klepání motoru, dojde-li k jejich záměně. Pokud barevný snímač odhalí záměnu barev, hlásí NOK.

KontrLgSc1 . . . KontrLgSc3 - radarová kontrola přítomnosti ojnicních pánví. Pokud stanice zjistí absenci pánví, hlásí NOK.

K01P01, K01P13 . . . K07P01, K07P13 (bez členů K05Pxx) - kontrola utažení šroubů ojnic. Je určen kroutící moment, úhel otočení šroubu a vertikální posun, který má být dosažen. Při nesplnění některé z těchto podmínek systém hlásí NOK.

Skutečné opravy - byly zjišťovány z tzv. *knih standardizovaných inspekcí*. Z této stanice jdou všechny motory, kde bylo zaznamenáno NOK a operátor po zběžném prohlédnutí usoudil, že se nejedná o pseudochybu, na repasi, kde se vše zaznamenává do knihy standardizovaných inspekcí.

Pozorovací období na této stanici bylo 20. 6. 2007 - 24. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

3.1.3 Stanice 2260

Tato stanice provádí montážní činnost.

DosierMg - tmelení horního dílu bloku motoru. Tato položka se kontroluje tlakovým čidlem přímo v trysce tmeliče. Klesne-li tlak v trysce mimo předepsanou oblast hodnot, je tento motor označen za NOK.

Skutečné opravy - ne této stanici se nepodařilo zjistit kdy šlo o skutečné chyby a kdy o pseudochyby.

Pozorovací období na této stanici bylo 20. 6. 2007 - 24. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

Na této stanici navíc došlo na přelomu července a srpna k instalaci nové kontroly. Používá se nový druh tmelu a navíc se kontroluje souvislost natmelené plochy pomocí kamery. S tím souvisí další úkol speciálně pro tuto stanici - porovnat jak se změnily statistické charakteristiky na této stanici po instalaci této nové kontroly.

Stanici 2260 po instalaci nové kontroly značím dále v textu zjednodušeně 2260new.

DosierMgNew - položka *DosierMg* u stanice 2260 po instalaci nové kontroly.

Pozorovací období na stanici 2260new bylo 15. 10. - 9. 11. 2007. Jedná se o 20 dnů.

Dále na lince dochází ke spojení bloků motoru a založení šroubů pro vzájemné dotažení bloků motoru.

3.1.4 Stanice 2320

Tato stanice provádí montážní činnost.

K01P0x ... K24P0x (bez členu K05P0x) - kontroluje správné dotažení šroubů bloků motoru. Je určen kroutící moment, úhel otočení šroubu a vertikální posun, který má být dosažen. Při nesplnění některé z těchto podmínek systém hlásí NOK.

Skutečné opravy - jsou za ně považovány veškeré hlášené chyby. Pokud je motor označen za NOK, probíhá jeho náprava (ruční dotažení šroubů pomocí pneumatických šroubováků) ihned za stanicí. Jelikož operátor je automaticky ihned přiloží na NOK označené šrouby a utahuje je, nelze zjistit, kdy šlo o skutečné chyby a kdy o pseudochyby.

Pozorovací období na této stanici bylo 20. 6. 2007 - 24. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

Dále dochází k založení gufera, olejového čerpadla.

3.1.5 Stanice 2440

Tato stanice provádí kontrolní činnost.

Dichtg - kontrola správnosti založení těsnění pod hlavu válců. Operátor ručně zakládá těsnění pod hlavu válců a po jeho založení a zmáčknutí příslušného zeleného tlačítka OK u stanice, mu tato stanice zkontroluje, zda založil správný druh těsnění a zda dodržel jeho správnou polohu.

Skutečné opravy - tuto položku zde nezavádíme, jelikož na této stanici, vzhledem k vytížení operátora nelze zjistit kdy jde o skutečnou chybu a kdy o pseudochybu.

Pozorovací období na této stanici bylo 20. 6. 2007 - 24. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

Na této stanici byly zaznamenány výrazné problémy, a to zejména u 2V motorů. Dle Nexumu zde byla zaznamenána velká chybovost u 2V motorů, ale zároveň zde byly, při porovnání s ostatními stanicemi, zaznamenány nereálné počty kontrol (zhruba o 50% více než u ostatních stanic). Při bližším prozkoumání bylo zjištěno, že kolem této stanice konají některé 2V motory dle Nexumu zcela nereálnou cestu přes tyto stanice - ...2320, 2400, 2420, 2440(OK), 2460, 2410, 2440(NOK), 2500. ... Jak je patrné již při zbežném pohledu na linku, tato cesta není fyzicky možná a navíc je nesmyslné, aby motor, označený ve stanici jako OK, o něco později procházel tou samou stanicí a po označení NOK dále pokračoval nerušeně cestu po lince dále.

Na druhou stranu u 4V motorů, po celou dobu experimentu, nebyla zaznamenána žádná chyba, což je také podezřelé.

Dále následuje montáž hlavy válců a založení zdvihátek a vahadélek.

3.1.6 Stanice 2500

Tato stanice provádí kontrolní i montážní činnost.

RSH1-Lage ... RSH12-Lage - kamerová kontrola polohy vahadélek. Stanice kamerou kontroluje polohu specifických bodů na vahadélkách. Pokud daný bod nezaznamená v předem stanoveném prostoru, je motor prohlášen za NOK.

RSH1-typ ... RSH12-typ - kamerová kontrola typu vahadélek. Stanice kamerou kontroluje polohu specifických bodů na vahadélkách a spolu s informací o motoru z čipu zhodnotí, jestli jsou pro daný typ motoru založeny vhodné typy vahadélek. Pokud dané body nezaznamená v předem stanoveném prostoru, je motor prohlášen za NOK.

KontrRSH - kontrola všech vahadel. Bylo-li některé z vahadélek označeno jako NOK, je i tato položka označena jako NOK.

KontrDMA - kontrola nanesení tmelu na hlavy válců. Tato položka kontroluje, jestli stanice tmel nanáší.

Dosiermeng - kontrola nanesení množství tmelu na hlavu válců. Tato stanice kamerou kontroluje, jestli bylo nanесeno správné množství tmelu.

Skutečné opravy - skutečné opravy byly zjišťovány z protokolů přiložených k operátorovu na dané stanici.

Pozorovací období na této stanici bylo 20. 6. 2007 - 24. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

U 2V motorů jsou kontrolovány jen položky RSH1-Typ ... RSH6-Typ a RSH1-Lage ... RSH6-Lage - jelikož má 2V motor jen celkem 6 ventilů a tudíž i vahadélek.

Dále se založí ozubené kolo klikové hřídele, čepy, vodící lišty řetězu, ozubené kolo a napínák vačky, ozubené kolo olejové a vodní pumpy, přidá se blatník

3.1.7 Stanice 2750

Tato stanice provádí kontrolní činnost.

Dávka - kontroluje, zda bylo nanесeno správné množství tmelu.

Tmelení - kontroluje zda stroj správně tmelí.

Blatník - dotahuje šrouby blatníku.

Olejování - kontroluje zda bylo do prostoru pro olej vpraveno správné množství oleje.

Skutečné opravy - skutečné opravy byly zjišťovány z protokolů přiložených k operátorovu na dané stanici.

Pozorovací období na této stanici bylo 22. 6. 2007 - 26. 7. 2007. Jedná se o 20 pracovních dnů.

Chyby se vyskytují vždy v sériích několika chyb za sebou, mezi těmito okamžiky poruch běhá stroj bez jediné chyby.

Položka Tmeleni - naprosto vše je označováno za chybné.

Po této operaci je motor dále dokončován a jde dále na expedici.

4 Použité statistické nástroje

4.1 Základní pojmy

Před přistoupením k jednotlivým použitým statistickým nástrojům budou nejprve uvedeny základy statistiky a pravděpodobnosti.

Základní soubor (populace) - množina všech prvků, které mají hromadný charakter a vyskytují se u rozsáhlého souboru individuálních objektů.

Statistický soubor - množina všech prvků, které jsou předmětem daného statistického zkoumání. Podmnožina základního souboru.

Statistické jednotky - jednotlivé prvky ze statistického souboru.

Identifikační znaky - společné znaky jednotlivých prvků statistického souboru.

Statistické znaky - vytipované vlastnosti, které na daném statistickém souboru sledujeme (rozměry, parametry, veličiny, ...). Tyto znaky v průběhu pozorování nabývají určitých hodnot (úrovní).

Jednorozměrný statistický soubor - sledujeme-li v daném statistickém souboru jeden statistický znak

Vícerozměrný statistický soubor - sledujeme-li v daném statistickém souboru více statistických znaků.

Kvantitativní statistické znaky - statistické znaky, které nabývají číselných hodnot (délka, cena, životnost, ...). Kvantitativní statistické znaky dělíme na:

Diskrétní - nabývají-li pouze jednotlivých číselných hodnot (počet zmetků, počet vad, ...)

Spojité - nabývají-li všech hodnot z nějakého reálného intervalu (rozměr, hmotnost, cena výrobku, ...)

Kvalitativní statistické znaky - statistické znaky, které nelze vyjádřit početně (barva, tvar, jakost, ...). Kvalitativní statistické znaky dělíme na:

Ordinální - pokud jejich slovní hodnoty má smysl uspořádat (jakostní třídy, klasifikace, ...)

Nominální - pokud jejich slovní hodnoty nemá smysl uspořádat (barva, tvar, ...)

Výběr - podmnožina jednotek základního souboru, u kterých zjišťujeme informace o celém základním souboru.

Rozsah výběru - počet těchto vybraných jednotek.

Výběr musí být:

Reprezentativní - musí poskytovat informace bez omezení.

Homogenní - musí být bez vlivu dalších faktorů.

Náhodný - statistické jednotky vybíráme do výběru náhodně, ovšem s přijetím rizika, že výběr může být tímto více či méně zkreslený.

Způsoby provedení výběru:

Bez opakování - každá jednotka je vybrána nejvýše jednou.

S opakováním - jednotlivé jednotky mohou být vybrány i vícekrát.

Záměrný - vybíráme pouze jednotky s určitým, námi zvoleným, společným znakem.

Oblastní - základní soubor rozdělíme na podmnožiny a z těchto podmnožin provedeme části výběru.

Systematický (Mechanický) - vybíráme vždy několikátou jednotku vzhledem k pořadí.

4.1.1 Jednorozměrný statistický soubor s kvantitativním znakem

Další statistické pojmy budou pro jednoduchost zavedeny na jednorozměrném statistickém souboru.

Neroztříděný statistický soubor - (x_1, \dots, x_n) , prvky jsou v neuspořádaném pořadí.

Roztříděný statistický soubor - $(x_{(1)}, \dots, x_{(n)})$, $x_{(i)} \leq x_{(i+1)} \forall i \in 1, \dots, n$

Variační obor - interval $\langle x_{(1)}; x_{(n)} \rangle$

Rozpětí statistického souboru - délka intervalu variačního oboru $x_{(n)} - x_{(1)}$

Roztříděný statistický soubor - pokrytí variačního oboru systémem disjunktních intervalů (obvykle zleva otevřených a zprava uzavřených). To se používá při velkých rozsazích statistických intervalů.

Třídy roztříděného statistického souboru - jednotlivé disjunktní intervaly. Dále uvažujeme jejich počet m . Počet tříd volíme obvykle $1 + 3,33 \log n$ (pro statistický soubor symetrického charakteru), nebo \sqrt{n} až $2\sqrt{n}$ (pro statistický soubor asymetrického charakteru).

Délka třídy - bývá obvykle stejná. Značíme ji h . Pro délku třídy h platí: $h \approx \frac{x_{(n)} - x_{(1)}}{m}$. Délka musí odpovídat přesnosti získání hodnot x_i a střed x_j^* třídy by měl být zaokrouhlené číslo.

Absolutní četnost j -té třídy - číslo f_j . Je to počet prvků x_i původního neroztříděného statistického souboru, které leží v j -té třídě ($x_i \in \langle x_j, x_{j+1} \rangle$). Platí: $\sum_{j=1}^m f_j = n$.

Střed j -té třídy - je to číslo x_j^* , které reprezentuje j -tou třídu roztříděného statistického souboru. Obvykle to je: $x_j^* = \frac{x_{(j)} + x_{(j+1)}}{2}$, $x_j^* < x_{j+1}^*$, $j = 2, \dots, m-1$, $x_1^* = x_2^* - h$, $x_m^* = x_{m-1}^* + h$.

Relativní četnost - číslo $\frac{f_j}{n}$, uvádí se též v procentech. Platí: $\sum_{j=1}^m \frac{f_j}{n} = 1$.

Kumulativní absolutní četnost - číslo $F_j = \sum_{k=1}^j f_k$. Platí: $F_{j+1} = F_j + f_{j+1}$, pro $j = 1, \dots, m-1$. Tedy $F_1 = f_1$ a $F_m = n$.

Kumulativní relativní četnost - číslo $\frac{F_j}{n}$, $j = 1, \dots, m$. Uvádí se také v procentech.

Četnostní tabulky - tabulky, do kterých zapisujeme roztříděný statistický soubor. Jsou pro různé typy četností. Například pro absolutní četnost je uvedena v tab. 1:

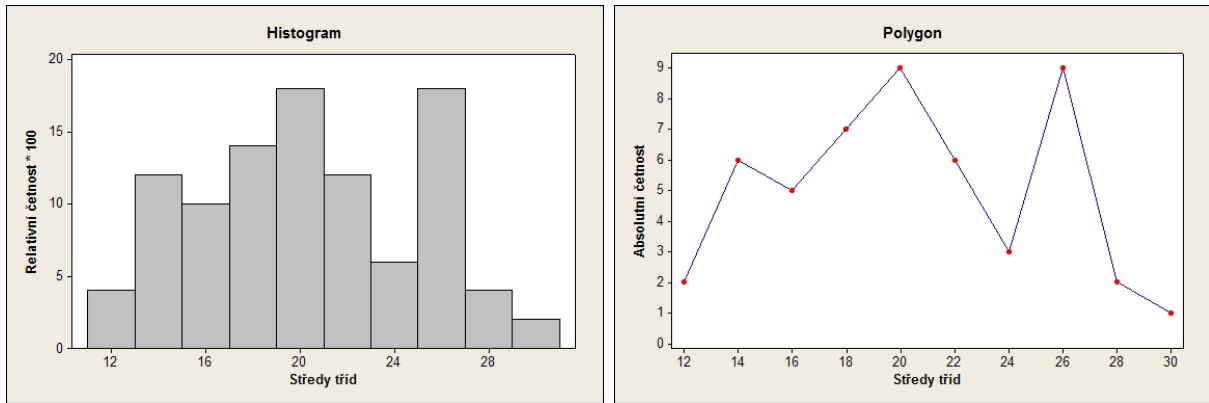
x_j^*	x_1^*	\dots	x_m^*
f_j	f_1	\dots	f_m

TABULKA 1: ČETNOSTNÍ TABULKA

Pro jednorozměrný roztříděný statistický soubor se nejčastěji používá jeden ze dvou následujících typů grafů:

Histogram - soustava obdélníků v kartézské souřadné soustavě, jejichž základny jsou třídy a výšky jsou četnosti tříd. Viz obr. 2.

Polygon - lomená čára v Kartézské souřadné soustavě spojující body, jejichž x-ová souřadnice je střed třídy a y-ová souřadnice je četnost třídy. Viz obr. 2.



OBRÁZEK 2: HISTOGRAM A POLYGON

Číselné (empirické) charakteristiky - vyjadřují významné vlastnosti statistického souboru v koncentrované formě.

Charakteristiky polohy:

- *Aritmetický průměr* - $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ pro neroztříděný soubor

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j x_j^*$$
 pro roztříděný soubor

Vlastnosti aritmetického průměru:

1. $y = ax + b \Rightarrow \bar{y} = a\bar{x} + b$, pro $a, b \in \mathfrak{R}$
2. $\overline{x + y} = \bar{x} + \bar{y}$
3. $x_{(1)} \leq \bar{x} \leq x_{(n)}$
4. \bar{x} má tentýž rozměr jako znak X

Váhy - číslo $w_i \geq 0$, které vyjadřuje vhodně zvoleným reálným číslem (kde alespoň jedno je nenulové) význam konkrétní hodnoty x_i .

- *Vážený aritmetický průměr* - $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$

Medián - jen pro neroztříděný statistický soubor.

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(\frac{n+1}{2})} & \text{pro lichá } n \\ \frac{1}{2} (x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}) & \text{pro sudá } n \end{cases}$$

Medián rozděljuje statistický soubor na dvě poloviny ("horní" a "dolní"). Medián je proti aritmetickému průměru málo citlivý na jednotlivé extrémně odchýlené hodnoty. Pro roztříděný soubor se k výpočtu mediánu používá vhodná aproximace.

Modus - číslo \hat{x} . V jeho okolí leží nejvíce hodnot x_i , resp. je to střed x_i^* třídy s největší absolutní četností f_j . Má stejné vlastnosti jako aritmetický průměr i medián.

Charakteristiky proměnlivosti (variability)

- *Výběrový rozptyl (disperze, variance)* $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2$

pro neroztříděný soubor

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j (x_j^* - \bar{x})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j x_j^{*2} \right) - \bar{x}^2$$

pro roztříděný soubor

Někdy pokud požadujeme větší výběrový rozptyl, jelikož empirické hodnoty s^2 se vychylují směrem doleva vzhledem ke skutečnému rozptylu, definujeme výběrový rozptyl \hat{s}^2 , $\hat{s}^2 = \frac{n}{n-1}s^2$

Velikost rozptylu závisí na velikosti proměnlivosti znaku X.

Vlastnosti rozptylu:

1. $s^2 \geq 0$
2. $y = ax + b \Rightarrow s^2(y) = a^2 s^2(x)$, pro $a, b \in \mathfrak{R}$
3. $s^2 = 0 \Leftrightarrow x_1 = \dots = x_n$, resp. $x_1^* = \dots = x_m^*$
4. s^2 má tentýž rozměr jako kvadrát znaku X

Směrodatná odchylka - číslo $s = \sqrt{s^2}$, resp. $s = \sqrt{\hat{s}^2}$

Vlastnosti směrodatné odchylky:

1. $s \geq 0$
2. $y = ax + b \Rightarrow s(y) = |a|s(x)$, pro $a, b \in \mathfrak{R}$
3. $s = 0 \Leftrightarrow x_1 = \dots = x_n$, resp. $x_1^* = \dots = x_m^*$
4. s má tentýž rozměr jako znak X

Velikost směrodatné odchylky závisí na velikosti proměnlivosti znaku X.

4.2 Nákres časové řady

Nákres časové řady slouží k zjištění změn v hlášené zmetkovitosti v pozorovaném časovém úseku.

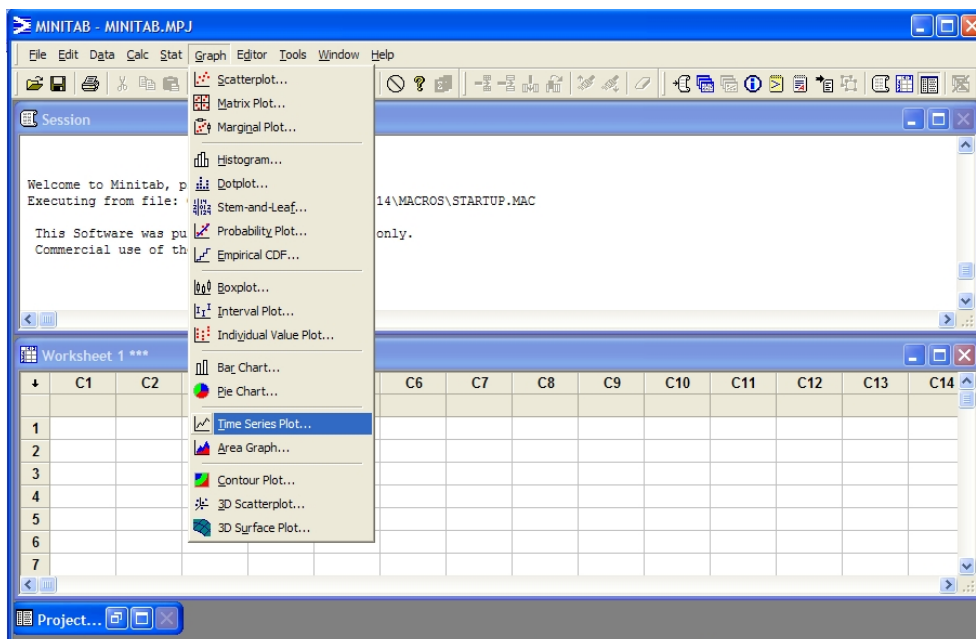
Je sledován časový průběh a zkouší se zjistit proč u dané stanice a kontroly je zrovna takový konkrétní časový průběh. Musí se brát na zřetel známé informace o odlišnostech těch konkrétních hodin vůči ostatním (tedy například jestli jde o náběh či doběh výroby, střídání směn, svačinka, ...).

Roztříděné statistické soubory zde tvoří data roztríděná podle druhu vyráběného motoru, stanice a konkrétní kontroly na ní. Tato data jsou dále roztríděna do tříd podle hodiny, v kterou byly ten daný konkrétní den vyrobeny. Třídy jsou dále pro zjednodušení označeny: 6h pro časový interval od 6 hodin do 7 hodin, 7h pro časový interval od 7 hodin do 8 hodin a dále podobně až do 21h.

Data musí být spolu vzájemně srovnatelná. V našem případě nelze vynášet počet chyb, resp. pseudochyb, které se vyskytnou v konkrétním časovém intervalu, jelikož každou hodinu projedou různá množství motorů. Proto se na diagram časového vývoje nevynáší počty chyb, resp. pseudochyb, ale jejich relativní četnosti, tj. množství vztahované v konkrétní hodinu na jeden motor.

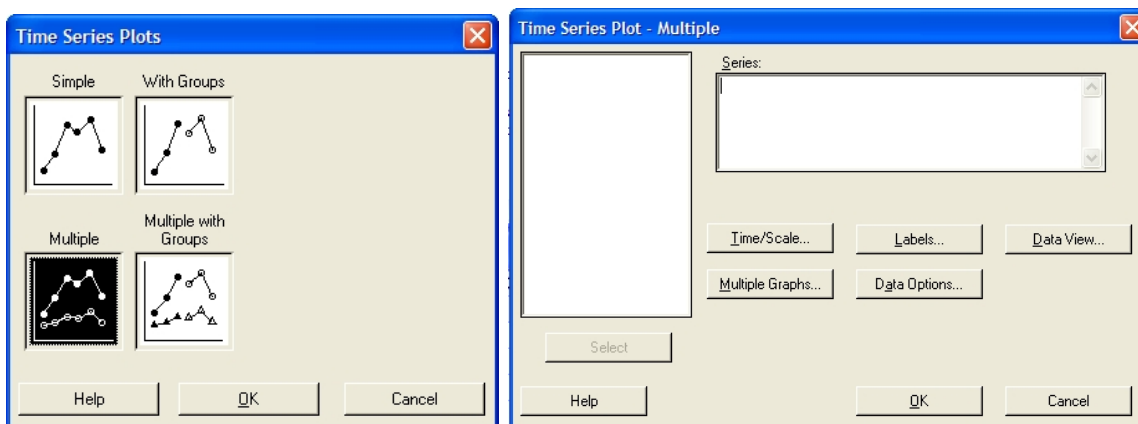
Na osu x se vynáší čas, na osu y se vynášejí relativní četnosti hlášených chyb.

V našem případě jsou data vložena do součásti programu MINITAB - *worksheet*. MINITAB bere data standardně ve sloupcích, proto jsou data, roztríděna podle druhu kontroly uložena, do sloupců, kde jeden sloupec znamená jeden druh kontroly a každý řádek pak znamená konkrétní jednu hodinu. V programu MINITAB časovou řadu získáme po cestě: *Graph* \rightarrow *Time Series Plot* viz obr. 3.



OBRÁZEK 3: VOLBA POLOŽKY TIME SERIES PLOT V PROGRAMU MINITAB

V okně položky *Time Series Plot* (viz. obr. 4) se zvolí druh požadovaného grafu - jednoduchý (*Simple*), hromadný (*Multiple*) popř. se skupinami (*With Groups*). V našem případě, jelikož je požadováno aby bylo možno zjistit jestli jednotlivé položky mají shodný průběh, je zvolen hromadný graf.



OBRÁZEK 4: OKNO VOLBY TYPU GRAFU A OKNO ZVOLENÉHO TYPU GRAFU

Do části *Series* se vkládají, označením v levé části okna a klepnutím na tlačítko *Select*, zpracovávané sloupce. Dále lze provést mnoho dalších nastavení a podnastavení - pojmenovat graf, osy, nastavit určité vlastnosti vstupních dat, nastavit měřítko a popis osy a mnoho dalších, viz obr. 4. Vše je podrobně probráno v příslušném MINITABovském Helpu.

4.3 Testování statistických hypotéz

Tento nástroj nám pomůže zhodnotit jestli má významný statistický vliv na sledované faktory, vyrábí-li se motory v ranní, nebo odpolední směně, vyrábějí-li se 2V, nebo 4V motory, popř. jak to ovlivnila změna kontroly (viz stanice 2260 - 2260new).

Statistická hypotéza (nulová hypotéza) - tvrzení o vlastnostech rozdělení pravděpodobnosti pozorované náhodné veličiny X s distribuční funkcí $F(x, \vartheta)$ nebo náhodného vektoru (X, Y) se simultánní distribuční funkcí $F(x, y, \vartheta)$. Značí se H (někdy ale též H_0, H_0). Pokud se testuje, že nějaký parametr ϑ má hodnotu ϑ_0 , pak se píše: $H : \vartheta = \vartheta_0$.

Test statistické hypotézy - postup, jímž je ověřována daná statistická hypotéza.

Alternativní hypotéza - hypotéza, která je stavěna proti nulové hypotéze. Značí se \bar{H} (někdy ale též H_1, H_A, H_A).

Dvoustranná alternativní hypotéza - je to hypotéza tvaru: $\bar{H} : \vartheta \neq \vartheta_0$.

Jednostranná alternativní hypotéza - je to hypotéza tvaru: $\bar{H} : \vartheta < \vartheta_0$, resp. $\bar{H} : \vartheta > \vartheta_0$.

Jednoduchá hypotéza - hypotéza, u které je uvažováno pouze: $\vartheta = \vartheta_0$.

Složená hypotéza - opak jednoduché hypotézy. Tedy hypotéza: $\vartheta \neq \vartheta_0$.

Parametrické hypotézy - když jde o tvrzení o parametrech pozorovaného statistického souboru.

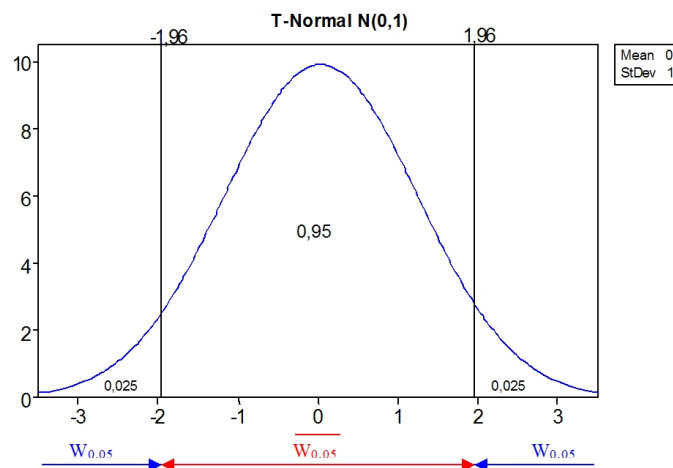
Neparametrické hypotézy - když jde o tvrzení o kvalitativních vlastnostech pozorovaného statistického souboru.

Hladina významnosti - číslo $\alpha > 0$. Je to pravděpodobnost (velikost rizika), že zamítáme nulovou hypotézu, i když je správná. Volí se blízká nule, obvykle 0,05 nebo 0,01. Někdy se uvádí v procentech (pak je tedy obvykle 5% nebo 1%).

Testové kritérium - vhodná statistika: $T(X_1, \dots, X_n)$ konstruovaná pro testování hypotézy: $H : \vartheta = \vartheta_0$ proti nějaké zvolené alternativní hypotéze \bar{H} . Jeho obor hodnot se za předpokladu platnosti testového kritéria: $H : \vartheta = \vartheta_0$ rozdělí na dvě disjunktní podmnožiny:

Kritický obor - oblast W_α viz. obrázek. Vzhledem k alternativní hypotéze \bar{H} se stanoví tak, aby pravděpodobnost toho, že testové kritérium $T(X_1, \dots, X_n)$ nabude hodnoty z kritického oboru W_α byla α (resp. nejvýše α).

Doplňk kritického oboru - oblast \bar{W}_α viz. obr. 5.



OBRÁZEK 5: VZTAH KRITICKÉHO OBORU A DOPLŇKU KRITICKÉHO OBORU

Pozorovaná hodnota testového kritéria - slouží k rozhodnutí o hypotéze H . Je to číslo $t = T(x_1, \dots, x_n)$ na kterém sledujeme jestli padne do kritického oboru W_α .

$t \in W_\alpha$ - zamítnutí hypotézy H a současně nezamítnutí alternativní hypotézy \bar{H} na hladině významnosti α .

$t \notin \bar{W}_\alpha$ nezamítnutí hypotézy H a současně zamítnutí alternativní hypotézy \bar{H} na hladině významnosti α .

Nezamítnutí hypotézy H , resp. \bar{H} ovšem neznamená prokázání její platnosti, jelikož se neví jestli daná hypotéza platí, nebo je k dispozici jen nedostatek informací k tomu, aby daná hypotéza byla zamítnuta. Obvykle se před přijetím dané hypotézy zvětšuje rozsah statistického souboru a daná hypotéza H se znovu testuje.

Chyba prvního druhu - je to chyba, která vznikne pokud hypotéza H platí, ovšem $t \in W_\alpha$, takže hypotéza H je zamítnuta. Pravděpodobnost chyby prvního druhu je hladina významnosti $\alpha = P(T \in W_\alpha/H)$.

Chyba druhého druhu - je to chyba, která vznikne pokud hypotéza H neplatí, ovšem $t \notin W_\alpha$, takže hypotéza H je nezamítnuta. Pravděpodobnost chyby druhého druhu je $\beta = P(T \notin W_\alpha/\bar{H})$.

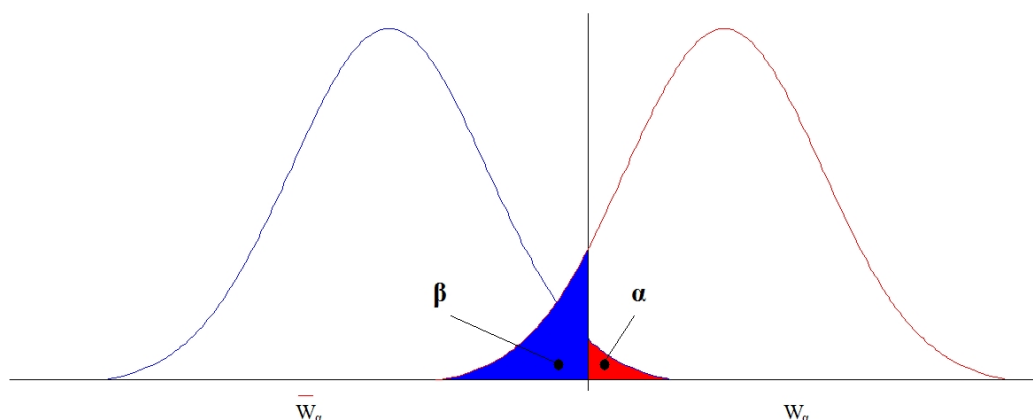
Síla testu - je to pravděpodobnost $1 - \beta = P(T \in W_\alpha/\bar{H})$.

Možnosti které mohou nastat při testování hypotézy H jsou v tab. 2:

H	PLATÍ	NEPLATÍ
ZAMÍTÁME	CHYBA 1. DRUHU	...
NEZAMÍTÁME	...	CHYBA 2. DRUHU

TABULKA 2: DRUHY CHYB

Zároveň nelze naráz eliminovat pravděpodobnosti α a β , protože pokud se zmenší α , tak při nezměněném rozsahu statistického souboru se zvětší β a naopak viz. obr. 6. Tedy, je-li požadováno pro danou hladinu významnosti α snížit riziko chyby druhého druhu β , pak se musí zvětšit rozsah statistického souboru n .



OBRÁZEK 6: VZTAH MEZI PRAVDĚPODOBNOSTMI α A β

Kritické hodnoty - kvantily t_1, t_2 , které tvoří intervalový odhad $\langle t_1; t_2 \rangle$ pro daný obor hodnot \bar{W}_α . Intervalové odhady lze přímo použít k testování statistických hypotéz. Např. při testu hypotézy $H : \vartheta = \vartheta_0$ proti alternativní hypotéze $\bar{H} : \vartheta \neq \vartheta_0$ na hladině významnosti α lze místo testového kritéria T vzít oboustranný intervalový odhad parametru ϑ se spolehlivostí $1 - \alpha$. Obsahuje-li tento intervalový odhad hodnotu ϑ_0 , hypotézu H nezamítáme na hladině významnosti α a naopak.

Některé testy hypotéz o parametrech normálního rozdělení

Dále jsou uvedeny pouze testy pro dvoustranné alternativní hypotézy. Testy pro jednostranné hypotézy se provádějí podobně, odlišují se pouze jednostrannými kritickými obory.

Studentův test (t-test) pro jeden výběr - test hypotézy: $H : \mu = \mu_0$ (μ - střední hodnota) při neznámém rozptylu σ^2 .

- testové kritérium:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n-1}. \quad (4.1)$$

- testové kritérium (4.1) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle -t_{1-\alpha/2}; t_{1-\alpha/2} \rangle$, kde $t_{1-\alpha/2}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil Studentova rozdělení $S(k)$ s $k = n - 1$ stupni volnosti. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Pearsonův test - test hypotézy: $\sigma^2 = \sigma_0^2$.

- testové kritérium:

$$t = \frac{ns^2}{\sigma_0^2}. \quad (4.2)$$

- testové kritérium (4.2) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle \chi_{\alpha/2}^2; \chi_{1-\alpha/2}^2 \rangle$, kde χ_P^2 je P-kvantil Pearsonova rozdělení $\chi^2(k)$ s $k = n - 1$ stupni volnosti. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Fisherův test (F-test) - test hypotézy $H : \sigma^2(X) = \sigma^2(Y)$.

- testové kritérium:

$$t = \frac{\max\left(\frac{n_1 s^2(x)}{n_1 - 1}; \frac{n_2 s^2(y)}{n_2 - 1}\right)}{\min\left(\frac{n_1 s^2(x)}{n_1 - 1}; \frac{n_2 s^2(y)}{n_2 - 1}\right)}. \quad (4.3)$$

- testové kritérium (4.3) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle 1; F_{1-\alpha/2} \rangle$, kde $F_{1-\alpha/2}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil Fisherova - Snedecorova rozdělení $F(k_1, k_2)$ s $k_1 = n_1 - 1$ a $k_2 = n_2 - 1$ stupni volnosti pro $\frac{n_1 s^2(x)}{n_1 - 1} \geq \frac{n_2 s^2(y)}{n_2 - 1}$, nebo s $k_1 = n_2 - 1$ a $k_2 = n_1 - 1$ stupni volnosti pro $\frac{n_1 s^2(x)}{n_1 - 1} \leq \frac{n_2 s^2(y)}{n_2 - 1}$. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Studentův test (t-test) pro dva výběry při stejných rozptylech - test hypotézy: $H : \mu(X) - \mu(Y) = \mu_0$ při neznámých rozptylech $\sigma^2(X) = \sigma^2(Y)$.

- testové kritérium:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \mu_0}{\sqrt{n_1 s^2(x) + n_2 s^2(y)}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}. \quad (4.4)$$

- testové kritérium (4.4) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle -t_{1-\alpha/2}; t_{1-\alpha/2} \rangle$, kde $t_{1-\alpha/2}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil Studentova rozdělení $S(k)$ s $k = n_1 + n_2 - 2$ stupni volnosti. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Studentův test (t-test) pro dva výběry při různých rozptylech - test hypotézy: $H : \mu(X) - \mu(Y) = \mu_0$ při neznámých rozptylech $\sigma^2(X) \neq \sigma^2(Y)$.

- testové kritérium:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \mu_0}{\sqrt{\frac{s^2(x)}{n_1 - 1} + \frac{s^2(y)}{n_2 - 1}}}. \quad (4.5)$$

- testové kritérium (4.5) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle -t_{1-\alpha/2}; t_{1-\alpha/2} \rangle$, kde

$$t_{1-\alpha/2} = \frac{\frac{s^2(x)}{n_1 - 1}t(x) + \frac{s^2(y)}{n_2 - 1}t(y)}{\frac{s^2(x)}{n_1 - 1} + \frac{s^2(y)}{n_2 - 1}}. \quad (4.6)$$

a $t(x)$, resp. $t(y)$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil Studentova rozdělení $S(k)$ s $k = n_1 - 1$, resp. $k = n_2 - 1$ stupni volnosti. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Tyto testy jsou vhodné jen pro normální rozdělení, které ovšem pro naše data nastalo. Proto musíme přistoupit k:

Některé testy hypotéz o parametrech binomického rozdělení

Dále jsou uvedeny pouze testy pro dvoustranné alternativní hypotézy. Testy pro jednostranné hypotézy se provádějí podobně, odlišují se pouze jednostrannými kritickými obory. Naše data mají binomické rozdělení pravděpodobnosti již z podstaty sběru dat. Binomické rozdělení se typicky vyskytuje v jakosti, kde pomoci něj je vyjadřován podíl neshodných výrobků.

Test hypotézy $H : p = p_0$ - testujeme, zda náš výběr má danou pravděpodobnost výskytu jevu.

- testové kritérium za předpokladu $n > 30$:

$$t = \frac{\frac{x}{n} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}. \quad (4.7)$$

- testové kritérium (4.7) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle -u_{1-\alpha/2}; u_{1-\alpha/2} \rangle$, kde $u_{1-\alpha/2}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil normálního rozdělení $N(0; 1)$. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Test hypotézy $H : p_1 = p_2$ - testujeme, zda dva výběry mají shodnou pravděpodobnost výskytu jistého jevu.

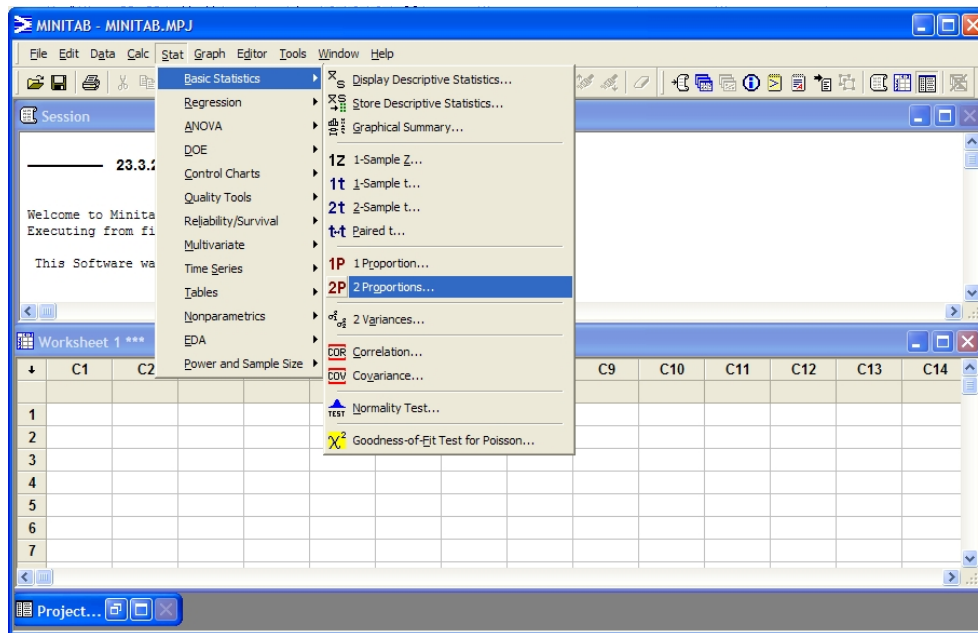
- testové kritérium za předpokladu $n_1 > 50, n_2 > 50$:

$$t = \frac{\frac{x}{n_1} - \frac{y}{n_2}}{\sqrt{\bar{f}(1 - \bar{f})}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (4.8)$$

kde $\bar{f} = \frac{x + y}{n_1 + n_2}$.

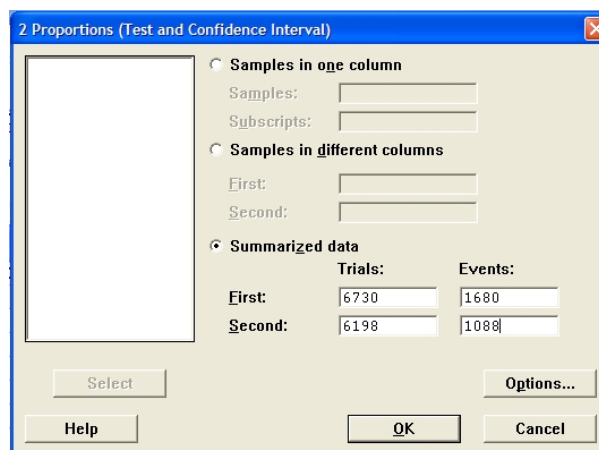
- testové kritérium (4.8) má obor hodnot $\overline{W}_\alpha = \langle -u_{1-\alpha/2}; u_{1-\alpha/2} \rangle$, kde $u_{1-\alpha/2}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -kvantil normálního rozdělení $N(0; 1)$. Tyto kvantily jsou k dohledání v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

Našemu problému odpovídá test hypotézy: $H : p_1 = p_2$, tj. testové kritérium (4.8). V programu MINITAB test této hypotézy, získáme po cestě: *Stat* → *Basic Statistic* → *2 Proportions...* viz. obr. 7.



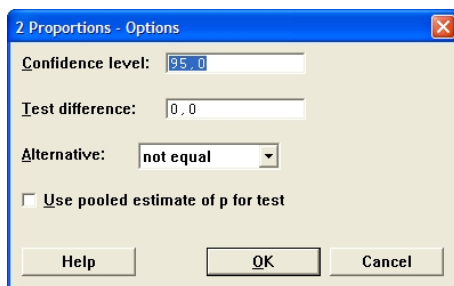
OBRÁZEK 7: VOLBA POLOŽKY 2 PROPORTIONS TEST V PROGRAMU MINITAB

Jelikož naše data jsou ve formě souhrnu, tak je zaznačena položka *Summarized data* viz obr. 8. Do sloupce *Trials* se zadává počet kontrolovaných motorů v dané zpracovávané skupině a do sloupce *Events* se zadává počet hlášených chybných motorů v této zpracovávané skupině.



OBRÁZEK 8: OKNO POLOŽKY 2 PROPORTIONS TEST

Kliknutím na položku *Options* se objeví dialogové okno viz. obr. 9, kde lze zvolit požadovanou hladinu významnosti α zapsáním hodnoty $100(1 - \alpha)$ do okénka položky *Confidence level*, případný požadovaný rozdíl $|p_1 - p_2|$ zapsáním do okénka položky *Test difference*, druh hypotézy změnou položky v okénku *Alternative* (lze vybrat z možností $p_1 < p_2$, $p_1 > p_2$, nebo $p_1 \neq p_2$) a zda se má použít shromážděný odhad p pro test zaškrknutím položky *Use pooled estimate of p test*.



OBRÁZEK 9: OKNO VOLEB POLOŽKY 2 PROPORTIONS TEST

4.4 Vzájemná závislost závad

Tento nástroj nám pomůže zjistit závislost závad na jednotlivých položkách jedné konkrétní stanice.

Dvourozměrný statistický soubor - statistický soubor rozsahu n tvaru $((x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n))$, z kterého vynecháním první, resp. druhé hodnoty v každé dvojici vznikne jednorozměrný statistický soubor (x_1, \dots, x_n) , resp. (y_1, \dots, y_n) . Jejich zpracováním lze získat číselné charakteristiky $\bar{x}, \bar{y}, s^2(x), s^2(y)$, atd.

Kontingenční tabulka - tabulka viz. tab. 3, do které lze zapsat pro zjednodušení dvourozměrný statistický soubor, kde X nabývá pouze hodnot $1, \dots, r$ a Y nabývá pouze hodnot $1, \dots, s$. Do záhlaví se vypisuje s stavů statistického souboru Y , resp. r stavů statistického souboru X , které mohou u jednotlivých statistických souborů nastat. Tabulka se popisuje slovně tak, že lze říci, že n jednotek bylo klasifikováno podle znaku X do r tříd a podle znaku Y do s tříd.

$X \backslash Y$	1	2	...	s	\sum
1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1s}	$n_{1.}$
2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2s}	$n_{2.}$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots
r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rs}	$n_{r.}$
\sum	$n_{.1}$	$n_{.2}$...	$n_{.s}$	n

TABULKA 3: KONTINGENČNÍ TABULKA

Marginální četnosti - čísla $n_{i.} = \sum_{j=1}^s n_{ij}$ a $n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}$.

Pravděpodobnosti jednotlivých jevů - je to číslo $P \in (0, 1)$. Pravděpodobnost že nastane daný jev je $100P\%$. Lze jej předepsat ve tvaru $p_{ij} = P(X = i, Y = j)$ a lze předpokládat, že $p_{ij} > 0$ pro všechny dvojice (i, j) . Potom máme $p_{i.} = P(Y = i) = \sum_{j=1}^s p_{ij}$

a $p_{.j} = P(X = j) = \sum_{i=1}^r p_{ij}$.

Hypotéza nezávislosti - jelikož platí, že hypotézy X, Y jsou nezávislé tehdy a jen tehdy, když $p_{ij} = p_{i.}p_{.j}$ pro $1 \leq i \leq r$ a $1 \leq j \leq s$, pak ji lze tedy psát ve tvaru: $H : p_{ij} = p_{i.}p_{.j}$, $i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, s$.

Testová charakteristika chí-kvadrát - číslo:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{\left(n_{ij} - \frac{n_{i.}n_{.j}}{n}\right)^2}{\frac{n_{i.}n_{.j}}{n}}. \quad (4.9)$$

Tento vzorec lze upravit na tvar:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{n_{ij}^2}{n_{i.}n_{.j}} - n. \quad (4.10)$$

Toto rozdělení chí-kvadrát má počet stupňů volnosti $f = rs - (r + s - 2) - 1$, po úpravě tedy $f = (r - 1)(s - 1)$. Ovšem veličina χ^2 není v žádném případě mírou závislosti mezi X a Y, jde jen o testovou charakteristiku.

Zamítnutí hypotézy nezávislosti - vyjde-li $\chi^2 \geq \chi_{(r-1)(s-1)}^2(\alpha)$, hypotéza nezávislosti je zamítnuta na hladině významnosti α . Kritickou hodnotu $\chi_{(r-1)(s-1)}^2(\alpha)$ lze získat v příslušných, běžně dostupných tabulkách.

4.4.1 Čtyřpolní tabulky

V našem případě ovšem je buď hlášena chyba (značíme 1), nebo hlášena není (značíme 0). Pro jejich výpočet jsou nejvhodnější tzv. čtyřpolní tabulky.

Čtyřpolní tabulky - tabulky v případech, kdy veličiny X a Y nabývají pouze dvou hodnot. Pak se získají tabulky typu 2×2 viz. tab. 4 kterým se říká čtyřpolní.

X\Y	0	1	\sum
0	n_{00}	n_{01}	$n_{0.}$
1	n_{10}	n_{11}	$n_{1.}$
\sum	$n_{.0}$	$n_{.1}$	n

TABULKA 4: ČTYŘPOLNÍ TABULKA

Marginální četnosti pro čtyřpolní tabulky - čísla $n_{i.} = n_{i0} + n_{i1}$ a $n_{.j} = n_{0j} + n_{1j}$.

Testová charakteristika chí-kvadrát pro čtyřpolní tabulky - vzorec (4.9) lze pro čtyřpolní tabulky zjednodušit. Z marginálních četností čtyřpolní tabulky a vztahu $n = n_{00} + n_{01} + n_{10} + n_{11}$ se nejprve dostane:

$$\left(n_{ij} - \frac{n_{i.}n_{.j}}{n}\right)^2 = \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{n^2}. \quad (4.11)$$

Kromě toho ze vztahu $n^2 = (n_{0.} + n_{1.})(n_{.0} + n_{.1})$ se získá:

$$n^2 = n_{0.}n_{.0} + n_{1.}n_{.0} + n_{0.}n_{.1} + n_{1.}n_{.1}. \quad (4.12)$$

Pak lze tedy charakteristiku chí-kvadrát pro $r = s = 2$ upravit na tvar:

$$\chi^2 = n \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{n^2} \frac{n_{1.}n_{.1} + n_{1.}n_{.0} + n_{0.}n_{.1} + n_{0.}n_{.0}}{n_{0.}n_{1.}n_{.0}n_{.1}}. \quad (4.13)$$

Vzhledem k (4.12) platí:

$$\chi^2 = n \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{n_{0.}n_{1.}n_{.0}n_{.1}}. \quad (4.14)$$

Naše veličina χ^2 má jeden stupeň volnosti. Pokud platí $\chi^2 \geq \chi_1^2(\alpha)$, pak se zamítá hypotéza nezávislosti na hladině významnosti α . Kritickou hodnotu $\chi_1^2(\alpha)$ lze nalézt v příslušných, běžně dostupných, tabulkách.

4.4.2 Fisherův faktoriálový test

Fisherův faktoriálový test - testová charakteristika chí-kvadrát lze použít jen když platí, že každá teoretická četnost $\frac{n_{i.}n_{.j}}{n} \geq 5$. Až potom aproximace pomocí (4.13), resp. (4.14) vyhovuje. Ovšem Fisherův faktoriálový test umožňuje ověřit hypotézu nezávislosti i při malých četnostech. Pro Fisherův faktoriálový test je nejprve třeba zavést několik dalších pojmů.

Teoretická interakce ve čtyřpolních tabulkách - je to číslo

$$\beta = \frac{p_{00}p_{11}}{p_{01}p_{10}}, \quad (4.15)$$

které odpovídá podílu pravděpodobností všech šancí, které mohou ve čtyřpolní tabulce nastat.

Interakce ve čtyřpolních tabulkách - je to číslo

$$b = \frac{n_{00}n_{11}}{n_{01}n_{10}}, \quad (4.16)$$

které odpovídá podílu všech šancí, které mohou ve čtyřpolní tabulce nastat. Jelikož n_{ij}/n je vlastně odhadem pravděpodobnosti p_{ij} , je číslo b (4.16) vlastně odhad teoretické interakce (4.15).

V případě nezávislosti je $\beta = 1$. Závislost znaků je tím větší, čím více se β vzdaluje od 1. Přitom musí platit: $0 \leq \beta \leq \infty$. Každá rozumná míra závislosti ve čtyřpolní tabulce je funkcí parametru β (ve výběru pak tedy funkce b). Nesymetrii hodnot β kolem čísla 1 vedla k tomu, že se zavedly:

Teoretická logaritmická interakce - je to číslo

$$\delta = \ln \beta. \quad (4.17)$$

Logaritmická interakce - je to číslo

$$d = \ln b. \quad (4.18)$$

Kritérium Fisherova faktoriálového testu - je to číslo

$$P = \frac{n_{0.}!n_{1.}!n_{.0}!n_{.1}!}{n!n_{00}!n_{01}!n_{10}!n_{11}!}, \quad (4.19)$$

což je vlastně pravděpodobnost toho, že při daných marginálních četnostech $n_{0.}$, $n_{1.}$, $n_{.0}$, $n_{.1}$ vznikne tabulka s četnostmi n_{00} , n_{01} , n_{10} a n_{11} .

Pro konkrétní marginální četnosti se vytvoří všechny možné tabulky, které mají stejné marginální četnosti. Těchto tabulek vznikne: $tab = \min\{n_{0.}, n_{1.}, n_{.0}, n_{.1}\} + 1$. Pro každou tuto tabulku včetně původní se vypočte její logaritmická interakce užitím vzorce (4.18). Dále se postupuje dle druhu testu, který je třeba provádět.

Test H_0 proti alternativě $H_1 : \delta < 0$ - (kde δ je teoretická logaritmická interakce viz. (4.17)) sečtou se hodnoty pravděpodobností P vypočtené pro ty tabulky, jejichž logaritmické interakce jsou menší nebo rovny číslu d z původní tabulky.

Test H_0 proti alternativě $H_1 : \delta > 0$ - sečtou se hodnoty pravděpodobností P tabulek, jejichž logaritmické interakce jsou větší nebo rovny číslu d z původní tabulky.

Test H_0 proti oboustranné alternativě $H_1 : \delta \neq 0$ - sečtou se hodnoty pravděpodobností P vypočtené pro ty tabulky, jejichž logaritmické interakce jsou v absolutní hodnotě větší nebo rovny číslu $|d|$ z původní tabulky.

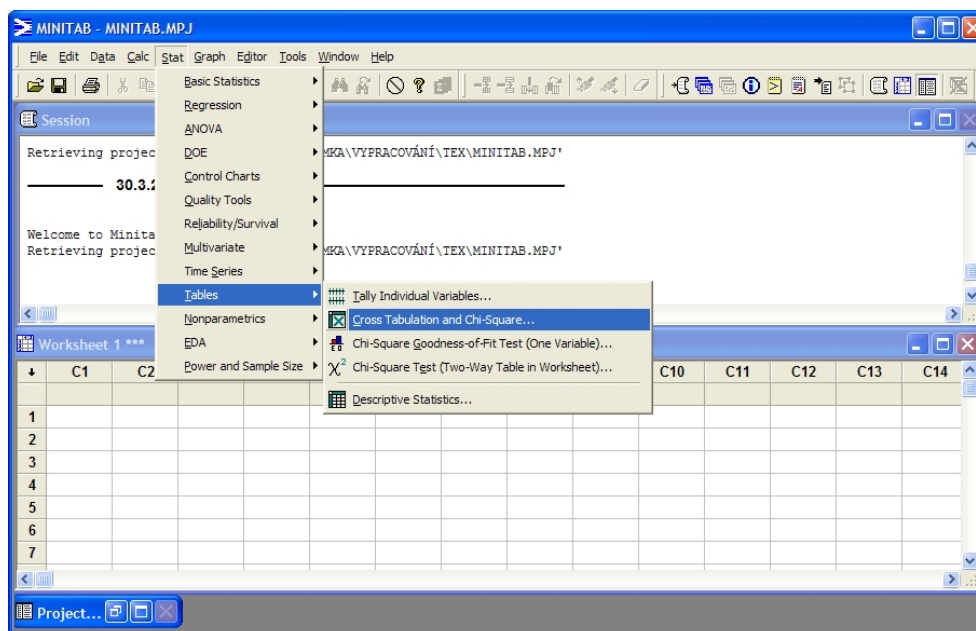
Pokud získaný součet pravděpodobností je menší nebo roven číslu α , zamítáme hypotézu H_0 na hladině významnosti α .

Pro Fisherův faktoriálový test platí, že pravděpodobnost chyby prvního a druhého druhu je shodně α .

Data se vloží do součásti MINITABu - worksheet. Jeden řádek vždy značí právě jeden motor, u kterého byla alespoň jedna položka označena za chybnou. Zároveň každý sloupec značí jednu tu kterou konkrétní kontrolu na dané stanici.

V úvahu se neberou jak motory u kterých nebyla zaznamenána žádná chyba, tak motory u kterých byly chybové veškeré položky, jelikož zde existuje podezření na vnější chybu - např. paleta špatně najela. Tyto chyby by mohly ovlivnit výsledek směrem k horší přesnosti.

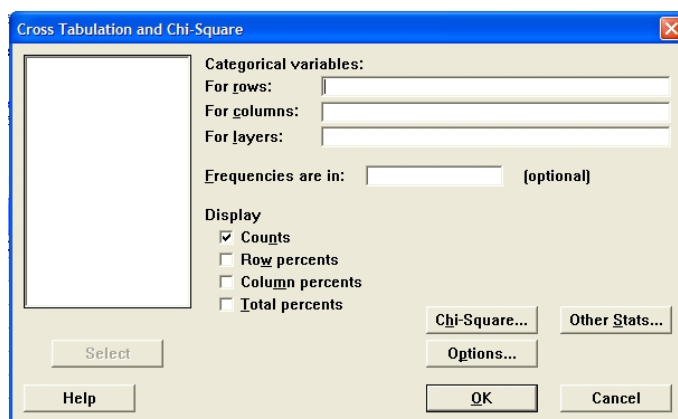
V programu MINITAB Fisherův faktoriálový oboustranný test, jenž je obecně nevhodnější, získáme po cestě: *Stat* → *Tables* → *Cross Tabulation and Chi-Square...* viz. obr. 10.



OBRÁZEK 10: VOLBA POLOŽKY CROSS TABULATION AND CHI-SQUARE V PROGRAMU MINITAB

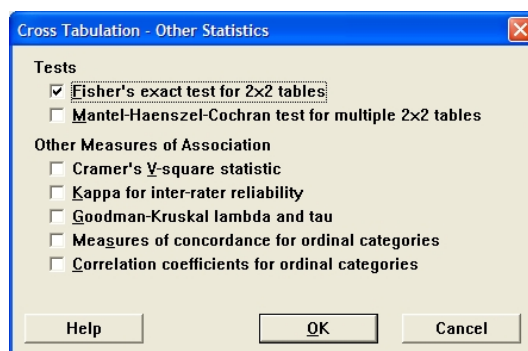
Do políček *For rows*, resp. *For Columns* se zadávají dva sloupce, které jsou srovnávány a které ve výsledné tabulce budou tvořit řádky, resp. sloupce. Dále lze zvolit co je třeba

ve výsledné tabulce zobrazit - četnosti (*Counts*), procenta řad (*Row percents*), procenta sloupců (*Column percents*), nebo i celková procenta (*Total percents*). V položce voleb *options* lze zvolit podrobnější obecné nastavení a v položce *Chi-Square* podrobnější nastavení testu chí-kvadrát. Toto okno je vyobrazeno na obr. 11.



OBRÁZEK 11: OKNO POLOŽKY CROSS TABULATION AND CHI-SQUARE

V položce *Other Stats...* se musí zatrhnout *Fisher's exact test for 2 × 2 tables*, aby MINITAB udělal požadovaný Fisherův faktoriálový test. To je vidět na obr. 12.



OBRÁZEK 12: OKNO VOLBY FISHER'S EXACT TEST FOR 2 × 2 TABLES

4.5 Kontrolní diagramy

Kontrolní diagramy jsou nástroj pro zjištění, zda je proces stabilní. V oblasti mezi mezemi pro $\pm 3\sigma$ by v případě stabilního procesu mělo ležet 99,73% hodnot datového souboru.

Regulační meze - meze počítané z empirických charakteristik daného datového souboru (\bar{x} , s , s^2 , ...). Meze jsou: - *horní regulační mez*

- *dolní regulační mez.*

Některé porušení stability procesu - 1 bod leží mimo regulační meze

- 9 za sebou jdoucích bodů leží po jedné straně od střední čáry

- 6 za sebou jdoucích bodů tvoří monotónně rostoucí nebo klesající řadu

- 14 za sebou jdoucích bodů se pravidelně střídá nahoru a dolů

Stabilní proces - Proces, ve kterém nebylo zaznamenáno významné porušení stability procesu. Dále se předpokládá, že mezi dolní a horní regulační mezí leží u stabilního procesu 99,73% hodnot datového souboru.

Regulační diagram - nejefektivnější nástroj na identifikaci stability (popř. nestability) procesu. Jde o grafické znázornění datového souboru výrobních údajů vůči regulačním mezím. Na vodorovnou osu se vynáší vždy čas. Dle druhu může být: - *měřením*

- *srovnáním.*

Metody statistické regulace měřením

- *výběrový průměr - výběrové rozpětí (\bar{x} -R)*
- *výběrový průměr - výběrová směrodatná odchylka (\bar{x} -s)*
- *výběrový medián - výběrové rozpětí (\tilde{x} -R)*
- *individuální hodnota - výběrové rozpětí (x_i -R).*

V našem případě je ovšem třeba spíše statistická regulace srovnáním, ta bude proto dále více rozvedena.

Statistická regulace srovnáním - zde není konkrétní naměřená hodnota, ale výsledek vypovídá jen o shodě, resp. neshodě výrobků. Aby tato regulace měla odpovídající vypovídací hodnotu, má být velikost srovnávaného souboru n alespoň 200 prvků, jednotlivé výběry n_i by měli mít alespoň 20 prvků.

Organizace sběru dat - kvalitativní data, jejichž číselná část vyjadřuje frekvenci výskytu sledovaného atributu (np). Musí být paralelně zaznamenáván jak počet neshodných jednotek, tak rozsah jednotlivých souborů.

Metody n a np předpokládají binomické rozdělení. Výchozí číselné hodnoty jsou vždy celočíselné. p vyjadřuje pravděpodobnost nalezení, np neshodných výrobků mezi n kontrolovanými výrobky.

Metody c a u předpokládají Poissonovo rozdělení, c navíc stejný rozsah jednotlivých prověřovaných výběrových vzorků. Pokud není splněno - použije se metoda u .

Číselné hodnoty sledovaného atributu se zapisují do tabulky a zakreslují do kontrolních diagramů. Po sebrání dostatečného počtu dat se vypočítají regulační meze a zakreslí se do diagramu.

Je-li proces stabilní i technicky, pak pokračuje sledování, přičemž regulační meze zůstávají zachovány.

Uvažujme dále značení: - x_i - počet defektů v konkrétní podskupině

- n_i - rozsah konkrétní podskupiny

- $p = \frac{\sum x_i}{\sum n_i}$ - průměrné procento defektů

Regulační diagram p - podíl vadných prvků p ve výběru rozsahu n .

- na svislou osu se vynáší hodnoty p

- kreslený bod - $p_i = \frac{x_i}{n_i}$

- střední osa - průměrné procento defektů p

- regulační limity - nejmenší resp. největší možné procento defektů, které se ještě vejdou do regulačních mezí $p_{min} = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}}$, resp. $p_{max} = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}}$.

Regulační diagram np - počet vadných prvků np ve výběru o rozsahu n .

- kreslený bod - kreslí konkrétní body x_i

- střední osa - průměrné množství defektů v dané podskupině $\bar{x} = n_i p$

- regulační limity - nejmenší resp. největší možný počet defektů, které se ještě vejdou do regulačních mezí $x_{min} = n_i p - 3\sqrt{n_i p(1-p)}$, resp. $x_{max} = n_i p + 3\sqrt{n_i p(1-p)}$.

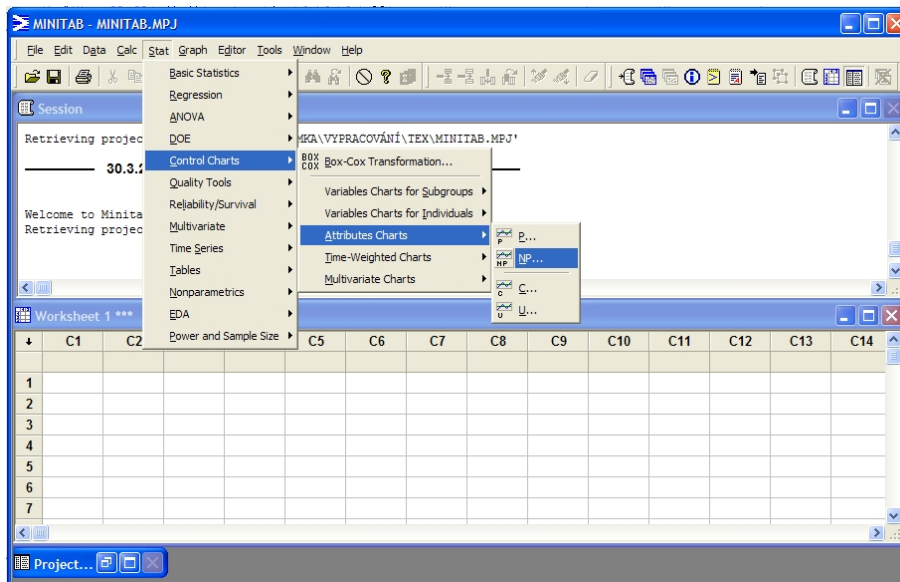
Regulační diagram c - počet vad c na definovaném objektu. Srovnávané objekty mají konstantní velikost.

- kreslený bod - kreslí konkrétní body x_i
- střední osa - průměrné množství defektů v jednotce $\bar{c} = \sum x_i, x_i \in c_j$
- regulační limity - nejmenší resp. největší možný počet defektů, které se ještě vejdou do regulačních mezí $c_{min} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$, resp. $c_{max} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$.

Regulační diagram u - poměrný počet vad u na definovaném objektu. Jednotlivé objekty nemusí mít stejnou velikost.

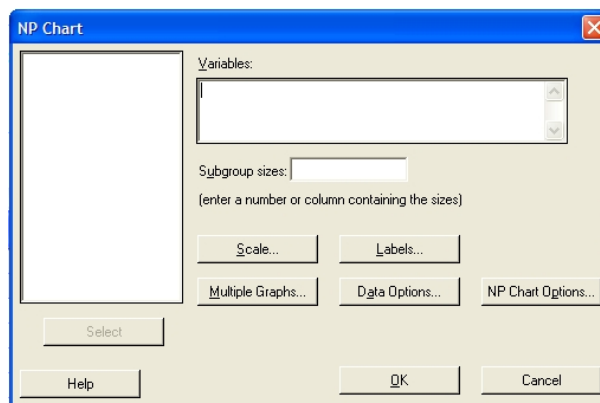
- kreslený bod - kreslí body ku velikosti podskupiny $u_i = \frac{x_i}{n_i}$
- střední osa - průměrné množství defektů na jednotku $\bar{u} = \frac{\sum x_i}{\sum n_i}$
- regulační limity - nejmenší resp. největší možný počet defektů, které se ještě vejdou do regulačních mezí $u_{min} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$, resp. $u_{max} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$.

V programu MINITAB Regulační diagram NP jenž je k tomuto nejvhodnější se získá po cestě: *Stat* → *Control Charts* → *Attributes Charts* → *NP...* viz. obr. 13.



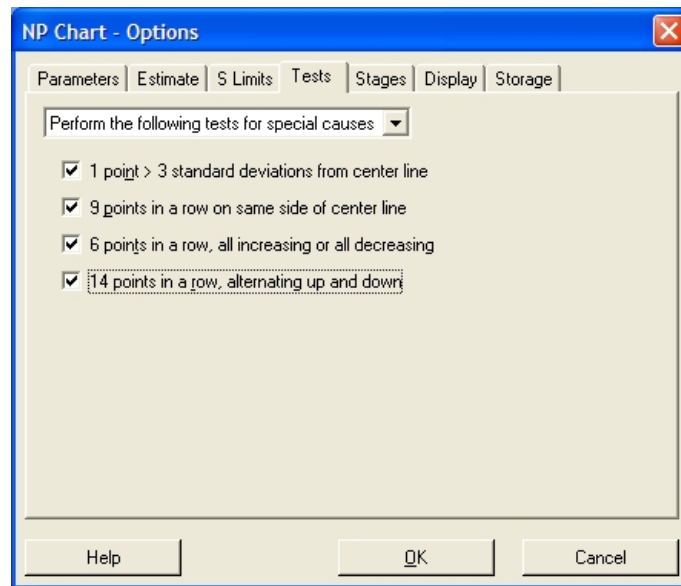
OBRÁZEK 13: VOLBA POLOŽKY NP CHARTS

Do okna *Variables* se zadávají sloupce, které se mají hodnotit a do okna *Subgroup sizes* sloupec, ve kterém je velikost dané skupiny. Dalšími tlačítky se nastavují další vlastnosti této volby. Celé okno je k vidění na obr. 14.



OBRÁZEK 14: OKNO POLOŽKY NP CHARTS

Např. v okně *NP Charts - Options* viz. obr. 15 v záložce *Tests* se zaškrťávají požadované hlídané porušení stability.



OBRÁZEK 15: OKNO POLOŽKY NP CHARTS - OPTIONS

5 Výsledky

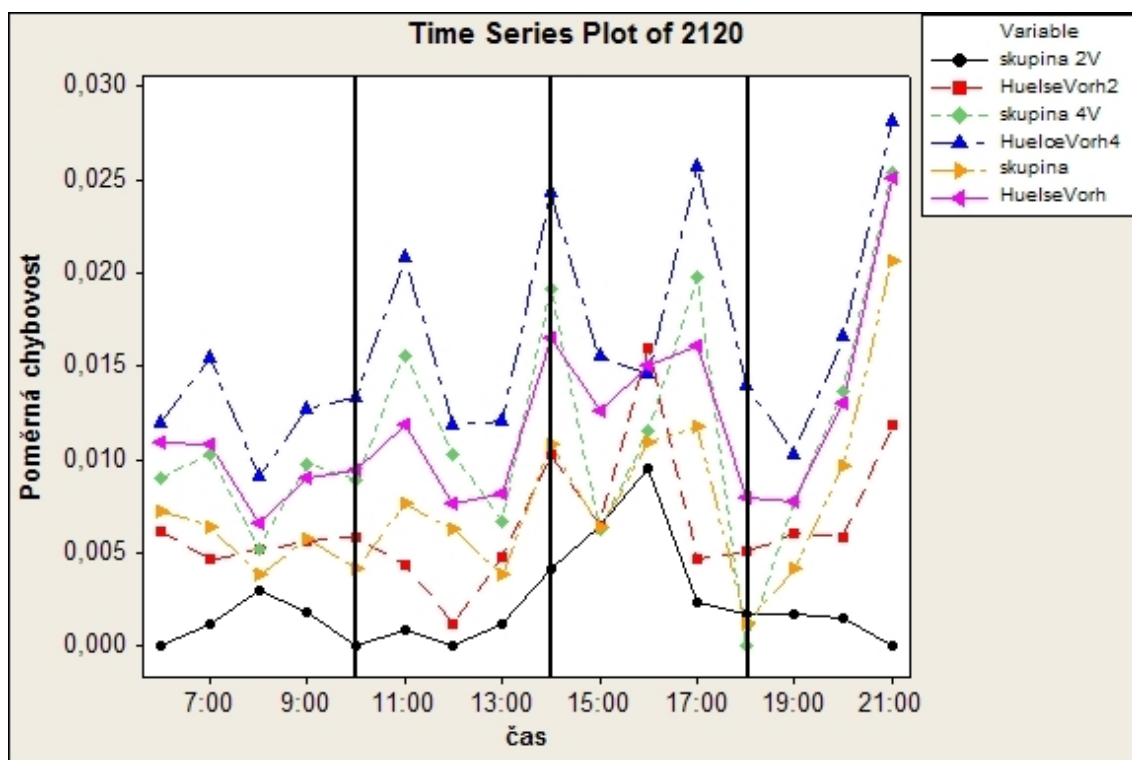
5.1 Nákres časové řady

Výsledky v této kapitole jsou pouze neotestované hypotézy, tudíž je třeba to mít při práci s těmito výsledky na paměti. Ovšem u časů, které budou použity v závěru, bude v další kapitole proveden test hypotézy o shodě chybovosti pro dané časy konkrétní stanice.

V nákresech svislé čáry označují dobu střídání směn a přestávek.

5.1.1 Stanice 2120

Nezpracovávala se položka skutečné opravy - byla zaznamenána jen jedna chyba.

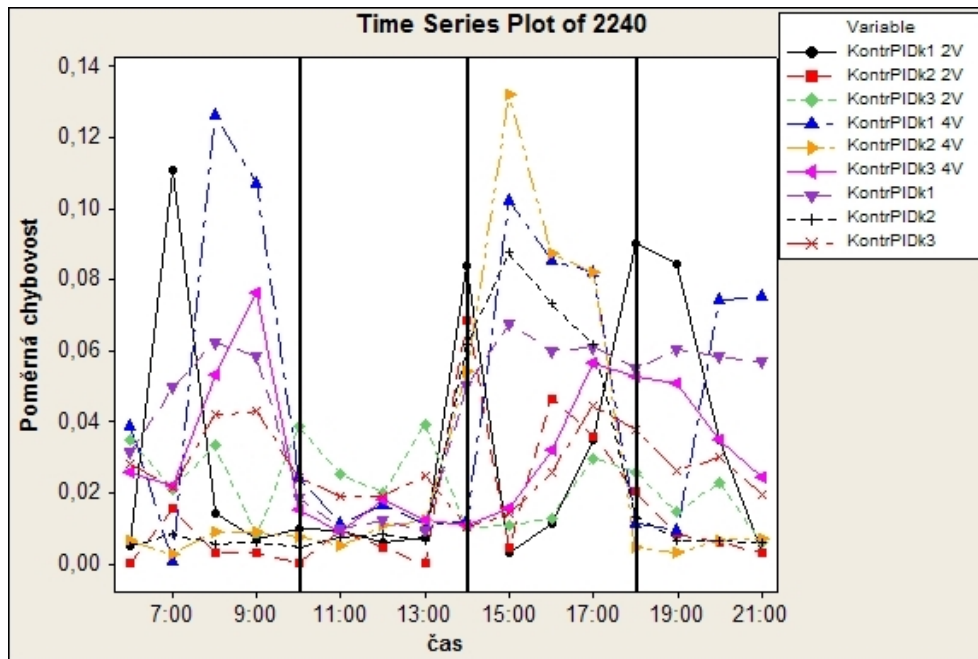


OBRÁZEK 16: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2120

Časový vývoj stanice 2120 vidíme na obr. 16. Od 6 do 10 hodin se zdá být chyba zhruba stejně, vzhledem k ostatnímu vývoji poměrně málo. Od 10 do 11 hodin, v době přestávky a patrně i jejím vlivem, pravděpodobně dochází k nárůstu chyb. Po přestávce se chybovost opět vrací na zhruba stejnou chybovost jako před přestávkou. Od 13 do 14 hodin, na konci ranní směny, kdy operátor asi již ztrácí plnou koncentrovanost, dochází zřejmě k opětovnému nárůstu chyb. Ty poté do 16 hodin opět klesají, aby mezi 16 a 17 hodinou prudce narostly (bez zjevné příčiny). Od 17 do 19 hodin chyb, opět bez zjevné příčiny, ubývá. Pak od 19 hodin do konce odpolední směny chyb narůstá patrně vlivem vzrůstající únavy obsluhy stanice, na celodenní maximum.

5.1.2 Stanice 2240

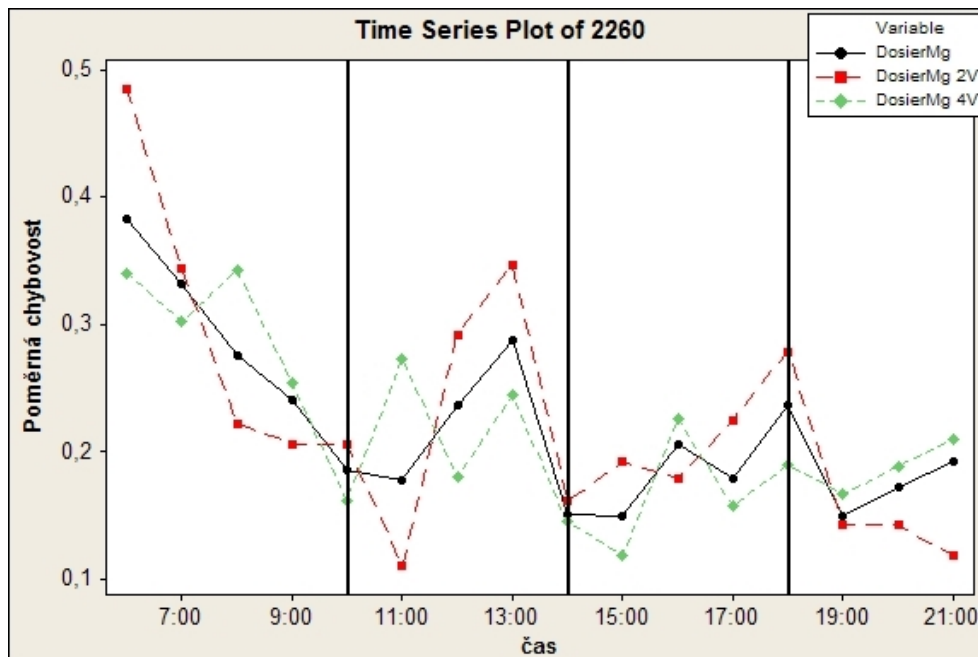
Zpracovávají se jen položky KontrPIDk1 ... KontrPIDk3, u ostatních položek je hlášeno málo chyb, tudíž by jejich zpracování nemělo smysl.



OBRÁZEK 17: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2240

Na grafu, který vidíme na obr. 17, nelze vidět jednotný časový průběh. Ten není zpozorován ani když místo jednoho grafu vykreslíme 3 grafy po jednotlivých složkách. Na grafu lze jen pozorovat nějaké 4 úseky rozdělené zhruba po 4 hodinách. Od 6 do 10 hodin je chybovost na poměrně vysoké úrovni. Od 10 do 14 hodin je množství chyb proti zbytku grafu méně. Od 14 do 18 hodin chyb opět výrazně přibude a nakonec, od 18 do 22 hodin, chyb slabě ubude.

5.1.3 Stanice 2260

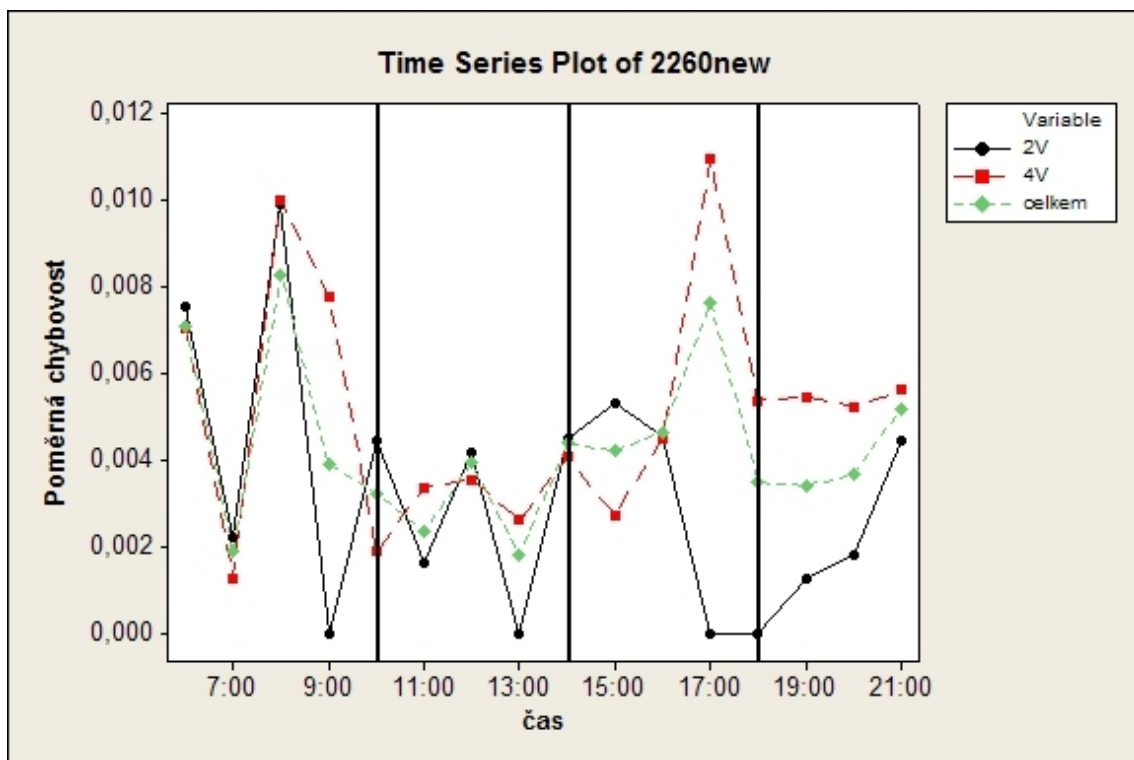


OBRÁZEK 18: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2260

Časový vývoj stanice 2260 vidíme na obr. 18. V 6 hodin, když výroba nabíhá, je chybovost na svém maximu. Od 6 do 11 hodin, kdy končí přestávka, chybovost klesá.

Hodinu po přestávce, až do konce směny ve 13 hodin, chybovost opět narůstá, možná vinou ztráty koncentrace obsluhy. Odpolední směna začíná ve 14 hodin na výrazně nižší chybovosti, než na jaké ranní směna v 13 hodin končila. Možná proto, že stroje jsou již zahřátý a obsluha čerstvá, plně koncentrovaná. Ovšem postupně, od 14 hodin až do přestávky v 18 hodin, narůstá chybovost možná úměrně s vzrůstající únavou obsluhy a tím zaviněnou ztrátou koncentrace. Po přestávce, v 19 hodin kdy je obsluha opět odpočatá a koncentrovaná, následuje prudký pokles, ale po té chybovost opět mírně narůstá až do konce směny, možná opět vinou vzrůstající únavy a klesající koncentrace.

5.1.4 Stanice 2260new

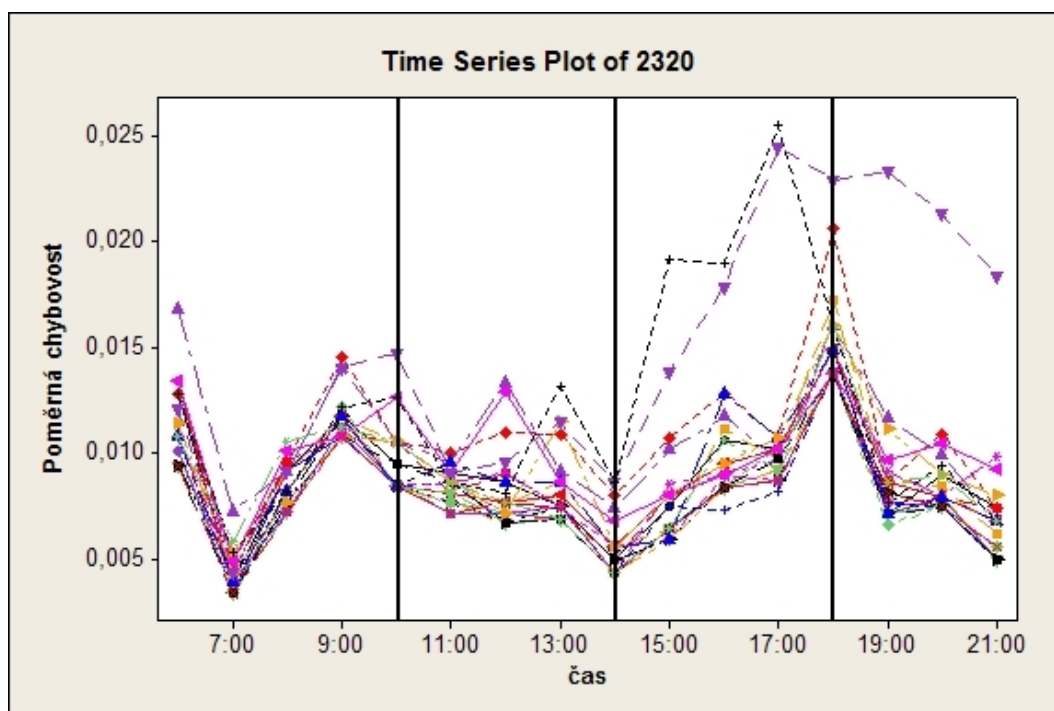


OBRÁZEK 19: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2260NEW

Vývoj, který vidíme na obr. 19, se zdá být u této stanice čistě náhodný. Patrné jsou jen výraznější odchylky v období od 6 do 10 hodin a prudký nárůst chybovosti v 17 hodin. Kromě těchto oblastí se chybovost pohybuje na zhruba konstantní hladině.

5.1.5 Stanice 2320

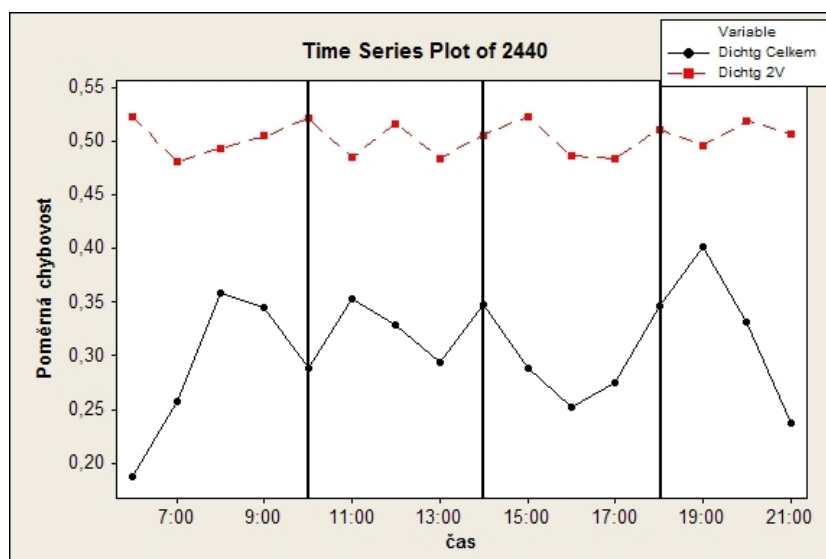
Přestože u této stanice je hodnoceno nejvíce položek, všechny se srovnaly do zhruba stejného průběhu, který vidíme na obr. 20. Legenda s názvem položky a druhem čáry není uvedena, jelikož by v grafu zabírala neúměrně moc místa a i s legendou by nebylo možné průběhy jednotlivých položek bezpečně identifikovat, jelikož je obtížné vyhledat průběh konkrétní čáry.



OBRÁZEK 20: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2320

Na začátku výroby je patrná určitá nestálost. V 6 hodin nabíhá výroba a hned na začátku výroby klesne chybovost na své minimum v 7 hodin. Poté, od 7 do 9 hodin, chybovost opět narůstá na zhruba původní hodnotu. Po té se chybovost ustálí a od 9 do 14 hodin, kdy odpolední směna pracuje hodinu, má mírně klesající tendenci. Od druhé hodiny odpolední směny až do 18 hodin kdy je přestávka chyb přibývá, aby po té, až do konce směny, opět klesaly. Průběh se dá popsat tak, že stroj se první 4 hodiny teprve zabíhá. První 4 hodiny po přestávce jede stanice stále lépe, ovšem po 5 hodinách, patrně vlivem únavy stroje, chyb až do další přestávky začne přibývat. Po přestávce, kdy stroj má možnost vychladnout, chyb opět ubývá.

5.1.6 Stanice 2440



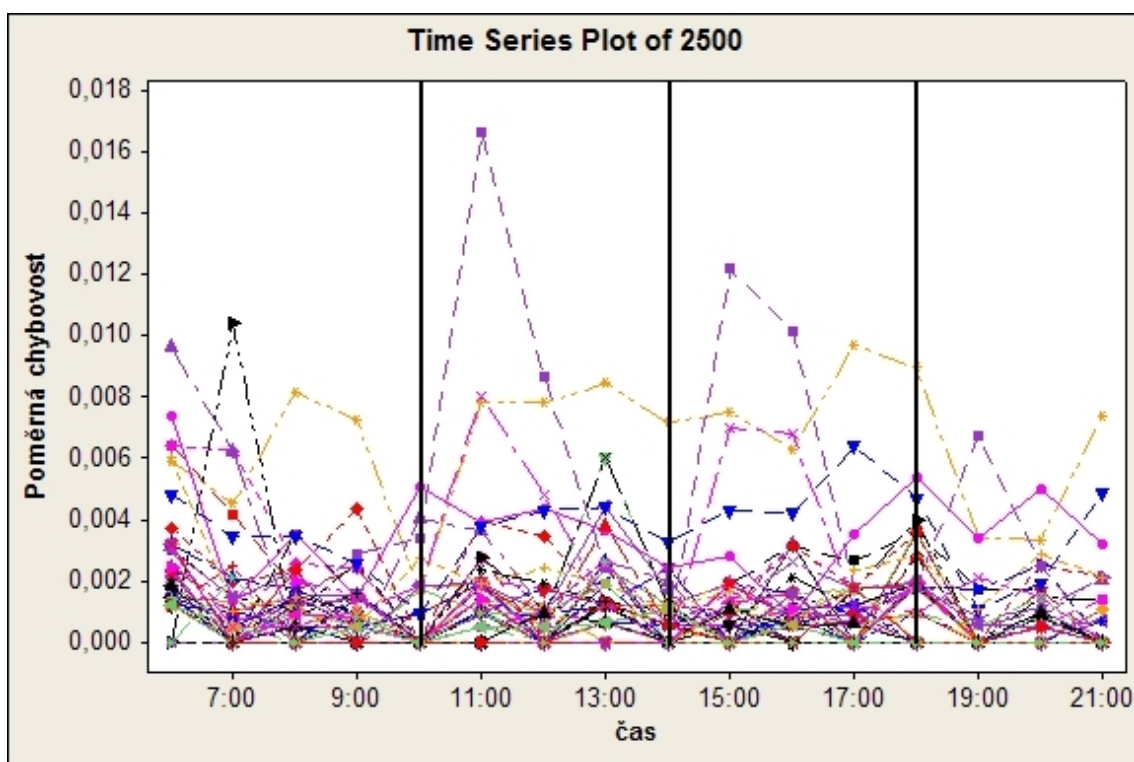
OBRÁZEK 21: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2440

Nezpracovávají se 4V motory, jelikož u nich nebyla zaznamenána žádná chyba.

O vývoji, který vidíme na obr. 21, nelze říci nic - graf je neustálený. Na vývoj patrně má velký význam jaký druh motorů se v danou hodinu hlavně vyrábí. Proto nemá cenu tento graf nijak komentovat, veškeré o něm řečeno by mohlo být zavádějící.

5.1.7 Stanice 2500

Nezpracovávala se položka Dosiermeng, jelikož u ni nebyla zaznamenána žádná chyba. Legenda s názvem položky a druhem čáry se neuvádí jelikož by v grafu zabírala neúměrně moc místa a i s legendou by nebylo možné průběhy jednotlivých položek bezpečně identifikovat, jelikož je obtížné vyhledat průběh konkrétní čáry.

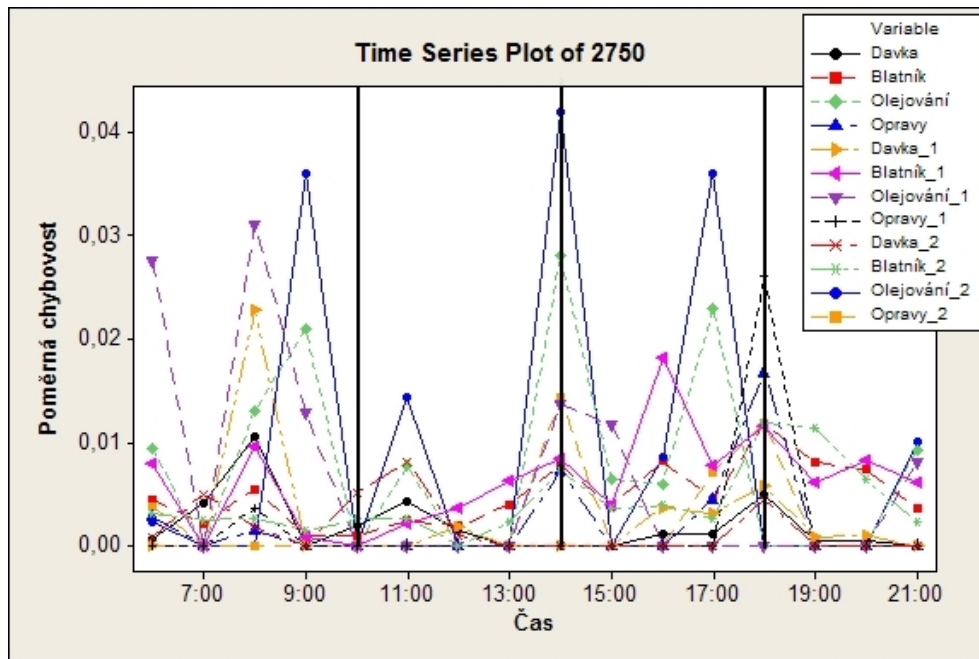


OBRÁZEK 21: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2500

O časovém vývoji, který vidíme na obr. 21, této stanice nelze nic říci, jeví se naprosto na čas nezávislý. Dokonce ani při rozřídění podle druhu motoru či položky graf nic konkrétního nedokáže ukázat.

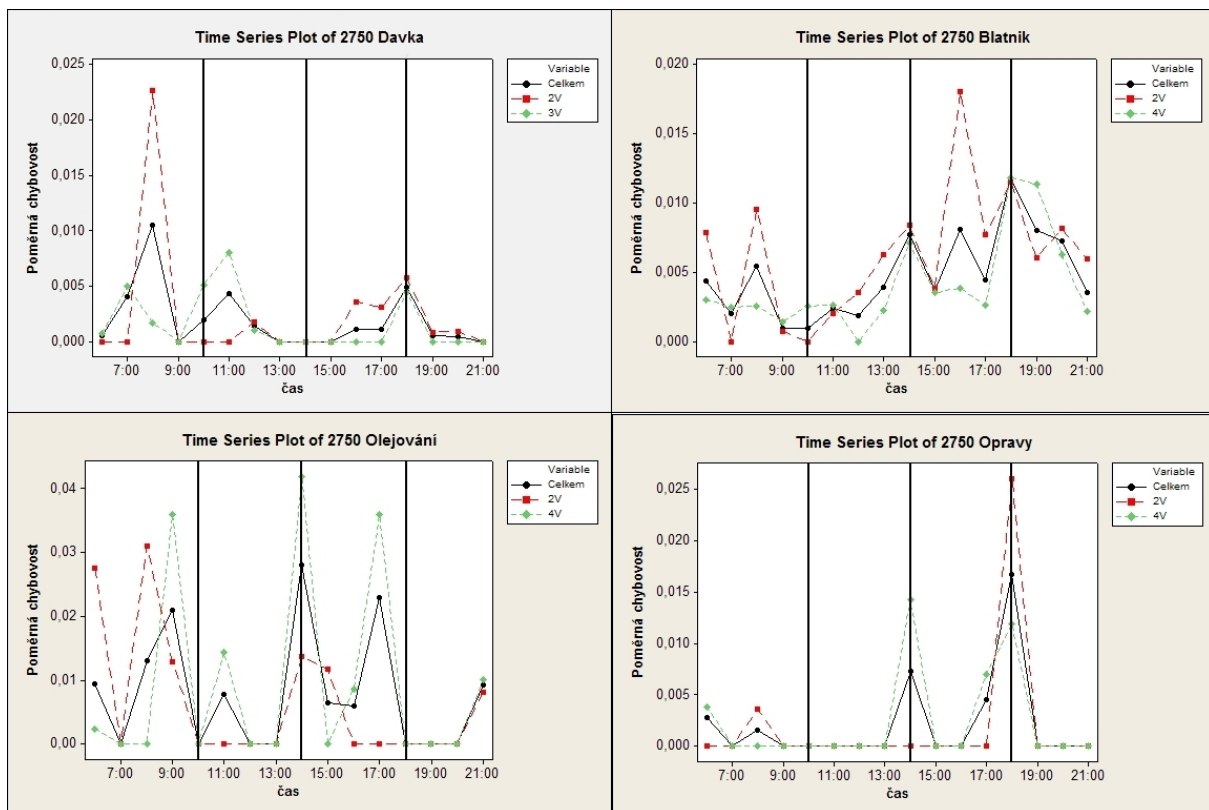
5.1.8 Stanice 2750

Nezpracovává se položka tmelení, jelikož je pro ni vše označeno jako chyba, tak by její poměrná chybovost byla stále 1.



OBRÁZEK 22: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2750

Když se vykreslil graf, viz. obr. 22, se všemi položkami a druhy motorů najednou, nešlo z něj nic vyčíst. Ani při rozložení dle druhu motorů nebylo možné časový vývoj rozumně popsat. Až vykreslení jednotlivých grafů po jednotlivých položkách, ovšem pro všechny druhy motorů, viz. obr. 23, nám ukázalo jasné průběhy.



OBRÁZEK 23: NÁKRES ČASOVÉ ŘADY PRO STANICI 2750 - ROZLOŽEN NA JEDNOTLIVÉ POLOŽKY

Položka dávka - od 6 do 8 hodin chyb přibývá. Mezi 8 a 9 hodinou následuje mírný pokles, aby poté do 13 hodin nastalo období s mírným výskytem chyb, kdy v 11 hodin byli na svém lokálním maximu. Do 15 hodin stanice běží opět bez chyb. Poté do 18 hodin opět narůstají a do 22 opět klesají až na nulu.

U položek blatník a olejování se nepovedlo určit nějaký konkrétní časový vývoj.

Skutečné chyby se vyskytovaly pouze v časech 6, 8, 14, 17 a 18 hodin. Tj. náběh výroby, 2 hodiny chodu výroby, při předávání směn a kolem odpolední přestávky.

5.2 Testování statistických hypotéz

V tabulkách jsou uváděny sebraná data (počty hlášených kontrol a počty hlášených chyb) a vypočtená P-hodnota (tu nám na naše sebraná data vrátí program MINITAB). Když $P - \text{hodnota} < \alpha$, tak se daná hypotéza zamítá.

Aproximace pomocí normálního rozdělení může být nepřesná pro malé vzorky.

Význam barev v následujícím textu:

Barva Vysvětlení

zelená hypotéza se nezamítá na hladině významnosti α , ale to může být vinou nedostatku dat

červená hypotéza se zamítá na hladině významnosti α

modrá hypotéza se zamítá na hladině významnosti α , ale to může být vinou nedostatku dat

černá hypotéza se nezamítá na hladině významnosti α

5.2.1 Stanice 2120

Položku Opravy je vynechána, jelikož byla zaznamenána jen jedna chyba. Sebraná data jsou v tab. 5.

	směna\kontrola	Kontrol	Skupina	HuelseVorh
2V	Ranní	6946	9	32
	Odpolední	5778	20	45
4V	Ranní	7717	75	104
	Odpolední	7945	111	150

TABULKA 5: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2120

	Skupina	HuelseVorh
2V	0,011	0,021
4V	0,014	0,007
Celkem	0,000	0,000

TABULKA 6: P-HODNOTY PRO ZJIŠTĚNÍ ROZDÍLU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2120

Jelikož všechny P-hodnoty v tab. 6 vyšly menší než 0,05, zamítá se hypotéza o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro všechny sledované položky. Na ranní směně se vždy vyskytovalo výrazně méně chyb než na odpolední směně.

Výsledky jsou získány pomocí programu MINITAB již dříve popsaným způsobem, ale pro úplnost je jeden případ spočítán ručně:

2V motor, položka skupina - zadané hodnoty viz tabulka výše.

$$\bar{f} = \frac{x+y}{n_1+n_2} = \frac{9+20}{6946+5778} = \frac{29}{12724}$$

$$t = \frac{\frac{x}{n_1} - \frac{y}{n_2}}{\sqrt{\bar{f}(1-\bar{f})}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1+n_2}} = \frac{\frac{9}{6946} - \frac{20}{5778}}{\sqrt{\frac{29}{12724}(1-\frac{29}{12724})}} \sqrt{\frac{6946 \cdot 5778}{6946+5778}} = -2.551$$

Z tabulky hodnot distribuční funkce $\phi(u)$ normovaného normálního rozdělení $N(0,1)$ lze zjistit, že $u_{0,975} = 1.960$. Protože $t = -2.551 \notin \langle -1.960; 1.960 \rangle$, zamítá se hypotéza o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny, což odpovídá výsledku, který nám vyšel pomocí MINITABu.

Kontrola	Skupina	HuelseVorh
P-hodnota	0,000	0,000

TABULKA 7: P-HODNOTY PRO ZJIŠTĚNÍ ROZDÍLU MEZI DRUHY VYRÁBĚNÝCH MOTORŮ PRO STANICI 2120

V tab. 7 vyšly opět všechny P-hodnoty menší než 0,05, což vede k zamítnutí hypotézy o shodnosti chybovosti 2V a 4V motorů na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. U 2V motorů se vyskytovalo výrazně méně chyb než u 4V motorů.

Pro korektnost závěru je třeba ještě určit, zda je významný statistický rozdíl mezi výrobou v období od 19 do 20 hodin a mezi výrobou po 21. hodině.

	Kontrol	Skupina	HuelseVorh
19 hodin	1945	8	15
21 hodin	1356	28	34

TABULKA 8: SEBRANÁ DATA PRO ČASOVÝ VÝVOJ STANICE 2120

	Skupina	HuelseVorh
P-hodnota	0,000	0,000

TABULKA 9: P-HODNOTY PRO ČASOVÝ VÝVOJ STANICE 2120

Z výsledků v tab. 9 zpočtených z dat viz. tab. 8 je patrné, že po 21. hodině se vyskytovalo skutečně více chyb než mezi 19. a 20. hodinou.

5.2.2 Stanice 2240

V tabulce jsou vynechány položky K01P13, K02P13, K03P13, K06P13 a K07P13, jelikož u těchto položek bylo zaznamenáno málo chyb. Sebraná data jsou uvedena v tab. 10.

	Směna	Kontrol	KontrPIDk1	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1
2V	Ranní	6740	152	37	173	1
	odpolední	6079	309	156	103	0
4V	Ranní	7925	333	61	236	2
	odpolední	7503	492	410	244	2
	Směna	KontrLgSc2	KontrLgSc3	K01P01	K02P01	K03P01
2V	Ranní	1	1	3	3	8
	odpolední	1	5	6	4	10
4V	Ranní	0	3	10	8	10
	odpolední	0	0	2	2	5

	Směna	K04P01	K04P13	K06P01	K07P01	RK
2V	Ranní	8	0	3	3	9
	odpolední	10	2	4	6	4
4V	Ranní	10	3	8	10	2
	odpolední	5	0	2	2	2

TABULKA 10: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2240

	KontrPIDk1	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1	
2V	0,000	0,000	0,001	0,342	
4V	0,000	0,000	0,327	0,956	
celkem	0,000	0,000	0,223	0,718	
	KontrLgSc2	KontrLgSc3	K01P01	K02P01	K03P0
2V	0,942	0,078	0,247	0,606	0,489
4V	nelze	0,092	0,027	0,070	0,236
celkem	0,957	0,654	0,359	0,291	0,76
	K04P01	K04P13	K06P01	K07P01	RK
2V	0,489	0,136	0,606	0,247	0,229
4V	0,236	0,092	0,070	0,027	0,956
celkem	0,762	0,718	0,291	0,359	0,291

TABULKA 11: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI SMENAMI PRO STANICI 2240

U případů, kdy se zamítá hypotéza o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny, kromě případu 2V motorů a položky KontrPIDk3, kdy se vyskytovalo výrazně méně chyb u odpolední směny, bylo výrazně méně chyb u ranní směny. Vše je znázorněno v tab. 11.

Kontrola	KontrPIDk1	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1		
P-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,254		
Kontrola	KontrLgSc2	KontrLgSc3	K01P01	K02P01		
P-hodnota	0,121	0,200	0,816	0,728		
Kontrola	K03P01	K04P01	K04P13	K06P01	K07P01	RK
P-hodnota	0,290	0,290	0,809	0,728	0,816	0,010

TABULKA 12: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2240

U všech případů, kdy se zamítá hypotéza o shodné chybovosti 2V a 4V motorů se vyskytovalo výrazně méně chyb u 2V motorů. Vše je znázorněno v tab. 12.

5.2.3 Stanice 2260

Zároveň se zpracovává stanice 2260 původní a 2260new, která je po úpravě kontroly z kontroly tlakem na kamerovou kontrolu. Všechna sebraná data jsou v tab. 13.

	Směna	Kontrol	DosierMg	KontrolNew	DosierMgNew
2V	Ranní	6730	1680	5166	21
	Odpolední	6198	1088	4480	13
4V	Ranní	8020	2146	7386	35
	Odpolední	7577	1330	6638	37

TABULKA 13: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2260

	DosierMg	DosierMgNew
2V	0,000	0,336
4V	0,000	0,490
Celkem	0,000	0,967

TABULKA 14: P-HODNOTY PRO ZJISTENI ROZDILU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2260

Hypotéza o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny byla zamítnuta podle tab. 14 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jen u stanice 2260 původní. Na odpolední směně se vždy vyskytovalo výrazně méně chyb než na směně ranní.

Kontrola	DosierMg	DosierMgNew
P-hodnota	0,075	0,068

TABULKA 15: P-HODNOTY PRO ZJISTENI ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2260

Mezi druhy vyráběných motorů viz. tab. 15 z dostupných dat nelze zamítnout hypotézu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ o shodnosti chybovosti u 2V a 4V motorů.

Kontrola	2V	4V	Celkem
P-hodnota	0,000	0,000	0,000

TABULKA 16: P-HODNOTY PRO ZJISTENI ROZDILU MEZI STANICI 2260 A 2260NEW

Dle tab. 16 zamítáme hypotézu o shodnosti chybovosti stanic s kontrolou pomocí tlaku a kamerovou kontrolou na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. U kamerové kontroly se vyskytovalo výrazně méně chyb než u kontroly pomocí takového čidla.

5.2.4 Stanice 2320

	Směna	Kontrol	K01P05	K02P05	K03P04	K04P04	K06P04
2V	Ranní	6723	62	58	57	62	63
	Odpolední	6193	59	57	54	57	63
4V	Ranní	7975	68	69	59	65	65
	Odpolední	7574	59	56	49	61	66
	Směna	K07P04	K08P05	K09P05	K10P03	K11P05	K12P02
2V	Ranní	75	65	61	54	57	56
	Odpolední	66	120	102	52	56	50
4V	Ranní	72	84	82	57	73	59
	Odpolední	63	139	91	51	60	51
	Směna	K13P08	K14P01	K15P06	K16P01	K17P06	K18P02
2V	Ranní	62	56	80	57	56	55
	Odpolední	58	50	73	51	63	49
4V	Ranní	68	58	83	58	68	55
	Odpolední	61	54	66	51	55	52
	Směna	K19P02	K20P03	K21P07	K22P03	K23P03	K24P03
2V	Ranní	56	54	60	55	56	74
	Odpolední	49	49	65	50	49	74
4V	Ranní	57	55	71	57	57	79
	Odpolední	51	52	56	51	53	72

TABULKA 17: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2320

	K01P05	K02P05	K03P04	K04P04	K06P04	K07P04
2V	0,857	0,727	0,882	0,991	0,643	0,785
4V	0,610	0,380	0,486	0,946	0,701	0,633
Celkem	0,804	0,690	0,692	0,949	0,555	0,587
	K08P05	K09P05	K10P03	K11P05	K12P02	K13P08
2V	0,000	0,000	0,819	0,731	0,872	0,932
4V	0,000	0,303	0,756	0,404	0,621	0,745
Celkem	0,000	0,001	0,945	0,703	0,636	0,856
	K14P01	K15P06	K16P01	K17P06	K18P02	K19P02
2V	0,872	0,953	0,879	0,273	0,864	0,792
4V	0,916	0,279	0,687	0,373	0,981	0,756
Celkem	0,845	0,414	0,687	0,902	0,885	0,678
	K20P03	K21P07	K22P03	K23P03	K24P03	
2V	0,939	0,362	0,946	0,792	0,615	
4V	0,981	0,296	0,756	0,911	0,799	
Celkem	0,937	0,911	0,781	0,786	0,872	

TABULKA 18: P-HODNOTY PRO ZJISTENI ROZDILU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2320

V tab. 18 lze vidět, že hypotézu o shodné chybovosti ranní a odpolední směny se zamítá na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro položku K08P05 pro 2V, 4V i motory celkově a pro položku K10P03 pro 2V motory a motory celkově. V ranní směně se vždy vyskytovalo výrazně méně chyb než ve směně odpolední.

	K01P05	K02P05	K03P04	K04P04	K06P04	K07P04
P-hodnota	0,278	0,427	0,113	0,313	0,237	0,055
	K08P05	K09P05	K10P03	K11P05	K12P02	K13P08
P-hodnota	0,990	0,245	0,220	0,859	0,273	0,370
	K14P01	K15P06	K16P01	K17P06	K18P02	K19P02
P-hodnota	0,333	0,064	0,192	0,233	0,252	0,249
	K20P03	K21P07	K22P03	K23P03	K24P03	
P-hodnota	0,283	0,176	0,249	0,306	0,150	

TABULKA 19: P-HODNOTY PRO ZJISTENI ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2320

V tab. 19 lze vidět, že u žádné položky nelze zamítnout hypotézu o shodné chybovosti 2V a 4V motorů na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Pro korektnost závěru je třeba ještě určit, zda je významný statistický rozdíl mezi výrobou v období od 6 do 7 hodin a mezi výrobou od 7 do 8 hodin, dále, jestli je rozdíl mezi výrobou v období od 18 do 19 hodin a mezi výrobou od 19 do 20 hodin. To počítáme z dat zprůměrovaných na položku. Sebraná data jsou vidět v tab. 20.

	Kontrol	Průměrná položka		Kontrol	Průměrná polžka
6 hodin	1492	17	18 hodin	873	13
7 hodin	2075	9	19 hodin	1975	17

TABULKA 20: SEBRANÁ DATA PRO ČASOVÝ VÝVOJ STANICE 2120

	6/7 hodin	18/19 hodin
P-hodnota	0,023	0,172

TABULKA 21: P-HODNOTY PRO ČASOVÝ VÝVOJ STANICE 2120

Z výsledků v tab. 21 je patrné, že mezi 6 a 7 hodinou zamítáme hypotézu o shodnosti chybovosti. Ovšem další uvažovanou hypotézu o shodnosti chybovosti před a po přestávce se nám nepodařilo zamítnout.

5.2.5 Stanice 2440

	Směna	Kontrol	Dichtg	Dichtg
2V	Ranní	13162	6558	0,49825
	Odpolední	12341	6220	0,50401
4V	Ranní	7990	0	0
	Odpolední	7435	0	0

TABULKA 22: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2440

	Dichtg
2V	0,358
Celkem	0,328

TABULKA 23: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2440

U 4V motorů nešlo určit P-hodnotu, jelikož nebyly hlášeny žádné chybné motory. Ale bylo potřeba alespoň jejich množství aby šla určit P-hodnota u motorů celkem. P-hodnoty jsou vidět v tab. 23. Hypotézu a shodnosti chyb v ranní a odpolední směně se nepodařilo zamítnout.

	Dichtg
P-hodnota	0,000

TABULKA 24: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2440

Hypotéza o shodnosti chyb mezi 2V a 4V motory na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ se zamítá dle tab. 24, ale může to být způsobeno jen nedostatkem dat - u motoru 4V nebyly zjištěny žádné vadné motory.

5.2.6 Stanice 2500

Položky RSH7-Lage ... RSH12-Lage a RSH7-Typ ... RSH12-typ jsou jen u 4V motorů. To znamená, že u 2V motorů se s nimi nepočítá vůbec a u motorů celkem jsou četnosti, poměrné četnosti a P-hodnoty u těchto položek totožné se 4V motory. Sebraná data vydáme v tab. 25.

	směna	Kontrol	RSH1-Lage	RSH2-Lage	RSH3-Lage	RSH4-Lage
2V	Ranní	6515	6	13	5	9
	Odpolední	6194	3	2	3	2
4V	Ranní	8045	7	10	7	7
	Odpolední	7608	3	5	2	4
	směna	RSH5-Lage	RSH6-Lage	RSH1-typ	RSH2-typ	RSH3-typ
2V	Ranní	6	5	4	4	3
	Odpolední	3	3	1	0	1
4V	Ranní	7	8	5	8	4
	Odpolední	2	8	2	3	1
	směna	RSH4-typ	RSH5-typ	RSH6-typ	Kontr-RSH	Kontr-DMA
2V	Ranní	5	3	2	17	15
	Odpolední	0	1	0	5	8

	směna	RSH4-typ	RSH5-typ	RSH6-typ	Kontr-RSH	Kontr-DMA
4V	Ranní	5	5	6	52	31
	Odpolední	3	1	7	51	24
	směna	Oprav	RSH7-Lage	RSH8-Lage	RSH9-Lage	RSH10-Lage
2V	Ranní	10	Není	Není	Není	Není
	Odpolední	4	Není	Není	Není	Není
4V	Ranní	40	9	22	6	9
	Odpolední	36	14	15	3	10
	směna	RSH11-Lage	RSH12-Lage	RSH7-typ	RSH8-typ	RSH9-typ
4V	Ranní	6	10	5	8	3
	Odpolední	4	5	3	5	2
		směna	RSH10-typ	RSH11-typ	RSH12-typ	
4V	Ranní		7	4	6	
	Odpolední		6	3	3	

TABULKA 25: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2500

	RSH1-Lage	RSH2-Lage	RSH3-Lage	RSH4-Lage	RSH5-Lage	RSH6-Lage
2V	0,355	0,006	0,525	0,043	0,355	0,525
4V	0,239	0,236	0,113	0,416	0,113	0,911
Celkem	0,136	0,005	0,112	0,045	0,076	0,781
	RSH1-typ	RSH2-typ	RSH3-typ	RSH4-typ	RSH5-typ	RSH6-typ
2V	0,199	0,051	0,342	0,029	0,342	0,168
4V	0,289	0,157	0,201	0,530	0,117	0,705
Celkem	0,101	0,026	0,112	0,065	0,070	0,877
	Kontr-RSH	Kontr-DMA	Oprav	RSH7-Lage	RSH8-Lage	
2V	0,015	0,18	0,131	není	není	
4V	0,853	0,460	0,829	0,239	0,326	
Celkem	0,386	0,177	0,422	není	není	
	RSH9-Lage	RSH10-Lage	RSH11-Lage	RSH12-Lage	RSH7-typ	
4V	0,359	0,725	0,586	0,236	0,530	
	RSH8-typ	RSH9-typ	RSH10-typ	RSH11-typ	RSH12-typ	
4V	0,464	0,700	0,860	0,761	0,359	

TABULKA 26: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2500

V tab. 26 lze vidět, že hypotéza o shodné chybovosti ranní a odpolední směny se zamítá u 2V motorů a položky KontrRSH a u motorů celkem u položek RSH2-Lage a RSH4-Lage na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Hypotéza o shodné chybovosti ranní a odpolední směny se zamítá také u 2V motorů a položek RSH2-Lage a RSH4-typ a u motorů celkem u položky RSH2-typ, ale zde to může být též zapříčiněno i nedostatkem dat. Dále u mnoha položek se hypotézu nepodařilo zamítnout, ale to též může být vinou nedostatkem dat. U zamítavých stanovisek bylo vždy na odpolední směně zaznamenáno výrazně méně chyb než na směně ranní.

	RSH1-Lage	RSH2-Lage	RSH3-Lage	RSH4-Lage	RSH5-Lage
P-hodnota	0,821	0,566	0,851	0,623	0,657
	RSH6-Lage	RSH1-typ	RSH2-typ	RSH3-typ	RSH4-typ
P-hodnota	0,259	0,827	0,158	0,983	0,646

	RSH5-typ	RSH6-typ	Kontr-RSH	Kontr-DMA	Oprav
P-hodnota	0,760	0,014	0,000	0,006	0,000

TABULKA 27: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2500

Zde se hypotéza o shodnosti vad u 2V a 4V motorů zamítá na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro položky KontrRSH, KontrDMA a Opravy. Dále vyšlo zamítavé stanovisko u položky RSH6-typ, ale to může být též zapříčiněno i nedostatkem dat. U položek RSH2-typ, RSH3-typ a RSH5-typ se hypotéza nezamítá, ale to může být též jen nedostatkem dat. U zamítavých stanovisek bylo vždy zaznamenáno výrazně méně chyb u 2V motoru než u 4V motorů. Vše lze vidět v tab. 27.

5.2.7 Stanice 2750

U stanice 2750 se nezpracovává položka Tmelení, jelikož na ni byla vždy hlášena chyba. Ostatní sebraná data jsou v tab. 28.

	Směna	kontrol	Davka	Blatník	Olejování	Opravy
2V	Ranní	6424	21	23	57	3
	Odpolední	6284	8	50	29	9
4V	Ranní	8160	23	18	44	5
	Odpolední	7485	3	42	102	30

TABULKA 28: SEBRANÁ DATA PRO STANICI 2750

	Davka	Blatník	Olejování	Opravy
2V	0,018	0,001	0,003	0,077
4V	0,000	0,001	0,000	0,000
Celkem	0,000	0,000	0,016	0,000

TABULKA 29: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI SMĚNAMI PRO STANICI 2750

Hypotéza o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny se nezamítá na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ podle tab. 29 jen u 2V motorů a položky opravy, kde to ovšem může být vinou nedostatku dat. U 4V motorů a položky Davka se hypotéza zamítá, ale i zde to může být způsobeno jen nedostatkem dat. U zbylých položek vyšlo zamítavé stanovisko. Položka dávka měla výrazně méně chyb na odpolední směně než na směně ranní. Položka Blatník měla výrazně méně chyb na směně ranní než na směně odpolední. Položka Olejování měla u 2V motorů výrazně méně chyb na směně odpolední než na směně ranní, u 4V motorů a motorů celkem měla výrazně méně chyb na ranní směně než na směně odpolední. Položka Oprav měla výrazně méně chyb na směně ranní než na směně odpolední.

	Davka	Blatník	Olejování	Opravy
P-hodnota	0,238	0,019	0,017	0,08

TABULKA 30: P-HODNOTY PRO ZJISTENÍ ROZDILU MEZI 2V A 4V MOTORY PRO STANICI 2750

Hypotéza o shodnosti chybovosti 2V a 4V motorů není zamítnuta na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ podle tab. 30 jen u položky Davka, u zbytku se na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítá. U položky Blatník bylo zaznamenáno výrazně méně chyb u 4V motorů než u 2V motorů, u položek Olejování a Opravy bylo zaznamenáno výrazně méně chyb u 2V motorů než u 4V motorů.

5.3 Vzájemná závislost závad

Tento statistický nástroj má smysl jen u stanic, u kterých je více kontrolovaných položek, a u kterých je na jednom motoru označena více než jedna chyba. Tento statistický nástroj tedy bude použit pouze u stanic 2120, 2240, 2320 a 2500.

Do tabulek bude vepsána přímo P-hodnota, která byla získána pomocí programu MINITAB výše popsáním způsobem. Ovšem od stanice 2320 se již bude vypisovat jen nez(zam) což bude znamenat že daná hypotéza o nezávislosti hlášených chyb se nezamítá (zamítá), podle toho co vyjde - z přehlednění tabulek.

Pro $P \leq 0.05$ se zamítá hypotéza o nezávislosti závad na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. **Položky u kterých budeme zamítat hypotézu o nezávislosti závad na hladině významnosti α budou značeny červeně .**

Fisherův test má smysl jen pro čtyřpolní tabulky, tedy pokud jeden řádek či sloupec v tabulce bude nulový, nemá smysl a v tabulce bude označen slovem nelze.

5.3.1 Stanice 2120

U této stanice vzájemná závislost závad nelze určit, jelikož v čtyřpolní tabulce chybí pro položku HuelseVorh motor bez nějaké závady. Tím pádem se jedná jen o tabulky 1x2, ale Fisherův test potřebuje celou tabulku 2x2. U této stanice nelze určit závislosti.

5.3.2 Stanice 2240

	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1	KontrLgSc2	KontrLgSc3
KontrPIDk1	0,87064	0	0,43704	0,19070	0,00680
KontrPIDk2		0	1	1	0,34590
KontrPIDk3			1	0,55017	0,10067
KontrLgSc1				0,00247	1
KontrLgSc2					1

TABULKA 31: ZÁVISLOSTI ZÁVAD PRO STANICI 2240 PRO 2V MOTORY

	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1	KontrLgSc2	KontrLgSc3
KontrPIDk1	0	0	0,64510	Nelze	0,07209
KontrPIDk2		0	1	Nelze	0,55508
KontrPIDk3			0,30632	Nelze	1
KontrLgSc1				Nelze	1
KontrLgSc2					Nelze

TABULKA 32: ZÁVISLOSTI ZÁVAD PRO STANICI 2240 PRO 4V MOTORY

	KontrPIDk2	KontrPIDk3	KontrLgSc1	KontrLgSc2	KontrLgSc3
KontrPIDk1	0	0	1	0,17972	0,00043
KontrPIDk2		0	1	1	0,06486
KontrPIDk3			0,17348	0,55113	0,28819
KontrLgSc1				0,00450	1
KontrLgSc2					1

TABULKA 33: ZÁVISLOSTI ZÁVAD PRO STANICI 2240 PRO MOTORY CELKEM

Hypotéza o vzájemné nezávislosti závad se zamítá na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro dvojice položek viz. tab. 31, 32 a 33. Pro 4V motory a položku KontrLgSc2 nešel provést žádný test, jelikož jsme pro ni neměli žádný chybný motor.

Pro úplnost jsou uvedeny 2 případy spočítané ručně. Jeden s použitím charakteristiky chí-kvadrát a druhý s použitím Fisherova faktoriálového testu, když některá z teoretických četností $n_{i,n_j}/n \leq 5$:

2V motor, položky KontrPIDk1 a KontrPIDk2:

Čtyřpolní tabulka:

PIDk1 \ PIDk2	0	1	Σ
0	266	88	354
1	340	116	456
Σ	606	204	810

Teoretické četnosti: $n_{0,n_0}/n = 354 \cdot 606/810 = 264,844$

$n_{0,n_1}/n = 354 \cdot 204/810 = 89,156$

$n_{1,n_0}/n = 456 \cdot 606/810 = 341,156$

$n_{1,n_1}/n = 456 \cdot 204/810 = 114,844$

Jelikož všechny teoretické četnosti jsou větší než 5, lze přistoupit k charakteristice Chí-kvadrát.

Charakteristika chí-kvadrát:

$$\chi^2 = n \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{n_{0,n_1}n_{0,n_1}} = 810 \frac{(266 \cdot 116 - 88 \cdot 340)^2}{354 \cdot 456 \cdot 606 \cdot 204} = 0.036$$

Z tabulky kritických hodnot $\chi_r^2(\alpha)$ lze zjistit, že $\chi_1^2(0.05) = 3,84$. Protože $\chi^2(0,05) < \chi_1^2(\alpha)$, hypotéza o nezávislosti chybovosti položek KontrPIDk1 a KontrPIDk2 pro 2V motory je zamítnuta, což odpovídá výsledku, který nám vyšel pomocí MINITABu.

Pro výpočet pomocí Fisherova faktoriálového testu zvolím položku, kde bude minimální prvek $\neq 0$ a zároveň minimální marginální četnost nebude moc vysoká, abych mohl předvést celý výpočet a přitom tento výpočet nebyl prostorově moc náročný.

Výpočet pomocí Fisherova faktoriálového testu:

4V motor, položky KontrPIDk1 a KontrLgSc1:

Čtyřpolní tabulka:

PIDk1 \ LgSc1	0	1	Σ
0	586	1	587
1	819	3	822
Σ	1405	4	1409

Teoretické četnosti: $n_{0,n_0}/n = 587 \cdot 1405/1409 = 585,333$

$n_{0,n_1}/n = 587 \cdot 4/1409 = 1,666$

$n_{1,n_0}/n = 822 \cdot 1405/1409 = 819,666$

$n_{1,n_1}/n = 822 \cdot 4/1409 = 2,333$

Dokonce 3 teoretické četnosti vyšly menší než 5, následuje tedy k Fisherův faktoriálový test. Nejprve spočítáme logaritmickou interakci a P-hodnotu původní tabulky:

$$d_1 = \ln \frac{n_{00}n_{11}}{n_{01}n_{10}} = \ln \frac{586 \cdot 3}{1 \cdot 819} = 0,764$$

$$P_1 = \frac{n_{0,!}n_{1,!}n_{0,!}n_{1,!}}{n!n_{00}!n_{01}!n_{10}!n_{11}!} = \frac{587!822!1405!4!}{1409!586!1!819!3!} = 0,331081$$

Všechny tabulky se shodnými marginálními četnostmi:

PIDk1\LgSc1	0	1	Σ
0	587	0	587
1	818	4	822
Σ	1405	4	1409

$$d_2 = \infty \quad p_2 = 0,115483$$

PIDk1\LgSc1	0	1	Σ
0	585	2	587
1	820	2	822
Σ	1405	4	1409

$$d_3 = -0,338 \quad p_3 = 0,354902$$

PIDk1\LgSc1	0	1	Σ
0	584	3	587
1	821	1	822
Σ	1405	4	1409

$$d_4 = -1,439 \quad p_4 = 0,168589$$

PIDk1\LgSc1	0	1	Σ
0	583	4	587
1	822	0	822
Σ	1405	4	1409

$$d_5 = -\infty \quad p_5 = 0,029944$$

Podmínku $|b_i| \geq |b_1|$ splňují jen tabulky s $P_1 = 0,331081$, $p_2 = 0,115483$, $p_4 = 0,168589$ a $p_5 = 0,029944$.

Výsledná P-hodnota tedy potom je:

$$p = p_1 + p_2 + p_4 + p_5 = 0,331081 + 0,115483 + 0,168589 + 0,029944 = 0,645098,$$

což odpovídá P-hodnotě spočítané pomocí programu MINITAB.

5.3.3 Stanice 2320

Pro zjednodušení dále zavedu označení: K02 místo K02P05, K03 místo K03P04, atd.

	K02	K03	K04	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13
K01	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez
K02		nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K03			nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K04				nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez
K06					nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K07						zam	nez	nez	nez	nez	nez
K08							zam	nez	nez	nez	nez
K09								nez	nez	nez	nez
K10									nez	zam	nez
K11										nez	zam
K12											nez
	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24
K01	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K02	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K03	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez
K04	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K06	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K07	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
K08	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
K09	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
K10	zam	nez	nez	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	nez
K11	nez	zam	nez	zam	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K12	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	nez	nez	nez
K13	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K14		nez	zam	nez	zam	zam	zam	nez	nez	zam	nez
K15			nez	zam	nez	nez	nez	zam	nez	nez	zam

	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24
K16	nez	zam	zam	zam	nez	nez	zam	nez
K17		nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K18			zam	zam	nez	zam	zam	nez
K19				zam	nez	nez	zam	nez
K20					nez	zam	zam	nez
K21						nez	nez	nez
K22							nez	nez
K23								nez

TABULKA 34: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2320 PRO 2V MOTORY

	K02	K03	K04	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13
K01	zam	zam	zam	zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K02		zam	zam	zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K03			zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
K04				zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K06					zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K07						nez	nez	zam	zam	zam	zam
K08							zam	zam	nez	nez	nez
K09								zam	nez	zam	nez
K10									zam	zam	zam
K11										zam	zam
K12											zam
	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24
K01	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K02	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K03	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K04	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K06	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K07	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K08	nez	zam	nez	nez	zam	nez	zam	nez	zam	nez	zam
K09	zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K10	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K11	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K12	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K13	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K14		zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K15			zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K16				zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K17					zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K18						zam	zam	zam	zam	zam	zam
K19							zam	nez	nez	zam	nez
K20								zam	zam	zam	zam
K21									zam	zam	zam
K22										zam	zam
K23											zam

TABULKA 35: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2320 PRO 4V MOTORY

	K02	K03	K04	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13
K01	zam	zam	zam	zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K02		zam	zam	zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K03			zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K04				zam	zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K06					zam	nez	nez	zam	zam	zam	zam
K07						zam	nez	zam	zam	zam	nez
K08							zam	nez	nez	nez	nez
K09								zam	nez	nez	nez
K10									zam	zam	zam
K11										zam	zam
K12											zam
	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24
K01	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K02	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K03	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	zam
K04	zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K06	zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K07	zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K08	nez	zam	nez	nez	zam	zam	zam	nez	nez	nez	zam
K09	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	zam	zam	zam
K10	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
K11	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K12	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
K13	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K14		zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
K15			zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K16				zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
K17					zam	nez	zam	zam	zam	zam	nez
K18						zam	zam	zam	zam	zam	zam
K19							zam	nez	zam	zam	nez
K20								zam	zam	zam	zam
K21									zam	zam	nez
K22										zam	zam
K23											zam

TABULKA 36: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2320 PRO MOTORY CELKEM

Hypotézy o vzájemné závislosti závad se pro jednotlivé typy motorů zamítají viz. tab. 34, 35 a 36.

5.3.4 Stanice 2500

Položky RSH7-Lage ... RSH12-Lage a RSH7-Typ ... RSH12-typ jsou jen u 4V motorů. To znamená, že u 2V motorů se hypotéza o vzájemné nezávislosti těchto položek nezpracovává, u motorů celkem jsou tyto hypotézy shodné s hypotézami u 4V motorů.

Pro zjednodušení dále zavedu označení: 1-L místo RSH1-Lage, 1-T místo RSH-1Typ, atd.

	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T
1-L	zam	zam	zam	zam	zam	zam	nez	nez	nez	nez	Nelze
2-L		zam	nez	zam	zam	nez	nez	nez	nez	nez	Nelze
3-L			zam	zam	zam	nez	nez	zam	nez	nez	Nelze
4-L				zam	zam	nez	nez	nez	zam	nez	Nelze
5-L					zam	nez	nez	nez	nez	zam	Nelze
6-L						nez	nez	nez	nez	nez	Nelze
1-T							nez	nez	nez	nez	Nelze
2-T								nez	nez	nez	Nelze
3-T									nez	nez	Nelze
4-T										nez	Nelze
5-T											Nelze
	1-L	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T
RSH	zam	zam	zam	zam	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez
DMA	nez	zam	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez

	RSH	6-T
DMA	zam	Nelze
RSH		Nelze

TABULKA 36: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2500 PRO 2V MOTORY

	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	7-L	8-L	9-L	10-L	11-L	12-L
1-L	zam	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
2-L		zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
3-L			zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
4-L				zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
5-L					zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
6-L						nez	nez	zam	zam	zam	zam
7-L							nez	zam	nez	zam	zam
8-L								zam	nez	zam	nez
9-L									zam	zam	zam
10-L										zam	zam
11-L											zam
	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T	11-T
1-L	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
2-L	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
3-L	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
4-L	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
5-L	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez
6-L	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez
7-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez
8-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
9-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam
10-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	zam	nez
11-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam
12-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
1-T		nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
2-T			nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
3-T				nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez

	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T	11-T
4-T					nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
5-T						nez	nez	nez	zam	nez	nez
6-T							nez	nez	nez	nez	nez
7-T								nez	nez	nez	nez
8-T									nez	nez	nez
9-T										zam	zam
10-T											zam
	1-L	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	7-L	8-L	9-L	10-L	11-L
12-T	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
RSH	zam	nez	nez	nez	nez	zam	zam	zam	nez	zam	nez
DMA	nez	zam	nez	nez	nez	zam	zam	zam	nez	zam	nez
	12-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T
12-T	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
RSH	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
DMA	zam	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	zam
					12-T	RSH	DMA				
					11-T	zam	nez	nez			
					12-T		nez	nez			
					RSH		zam				

TABULKA 37: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2500 PRO 4V MOTORY

	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T
1-L	zam	zam	zam	zam	zam	zam	nez	nez	nez	nez	nez
2-L		zam	zam	zam	zam	nez	zam	nez	nez	nez	nez
3-L			zam	zam	zam	nez	nez	zam	nez	nez	nez
4-L				zam	zam	nez	nez	nez	zam	nez	nez
5-L					zam	nez	nez	nez	nez	zam	nez
6-L						nez	nez	nez	nez	nez	zam
1-T							nez	nez	nez	nez	nez
2-T								nez	nez	nez	nez
3-T									nez	nez	nez
4-T										nez	nez
5-T											nez
	1-L	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T
RSH	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	nez	nez	nez
DMA	zam	zam	nez	zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	nez
						RSH	6-T				
						DMA	zam	zam			
						RSH		Nelze			

TABULKA 38: ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2500 PRO MOTORY CELKEM

5.4 Kontrolní diagramy

Nezpracovávají se položky Oprav - jelikož zde máme málo záznamů pro tvorbu regulačního grafu.

Červené body značí poruchu stability procesu.

Případy poruchy stability: 1 - bod leží mimo regulační meze.

2 - 9 bodů za sebou leží po jedné straně od střední křivky. Veškeré grafy jsou kvůli jejich prostorové náročnosti uvedeny v příloze.

O chybách značených číslem 2 při nulovém počtu chyb lze pochybovat jestli se jedná o skutečné chyby stanice.

5.4.1 Stanice 2120

Žádná z položek stanice 2120 nevyšla v průběhu měření jako stabilní.

Na stanici se objevuje v určitém časovém období úsek s nadměrným počtem chyb, kdy se mohlo jednat o větší vyjímečnou poruchu, ale i když ji zkusíme nebrat v úvahu, vyjde nám graf nestabilní.

5.4.2 Stanice 2240

Zpracovávají se pouze položky KontrPIDk1...KontrPIDk3, ostatní položky se nezpracovávají z důvodu malého počtu zaznamenaných chyb.

Žádná z položek KontrPIDk1...KontrPIDk3 nevyšla v průběhu měření jako stabilní.

Na stanici se objevuje v určitém časovém období úsek s nadměrným počtem chyb, kdy se mohlo jednat o větší vyjímečnou poruchu, ale i když ji zkusíme nebrat v úvahu, vyjde nám graf nestabilní.

5.4.3 Stanice 2260

Položka Dosiermeng ani položka DosiermengNew nevyšla v průběhu měření jako stabilní.

U položky Dosiermeng - za chyby bereme i body označené pod dolní hranicí, zde existuje zde riziko, že chyb máme ve skutečnosti více, jen je stanice neodhalila.

5.4.4 Stanice 2320

Žádná z položek stanice 2320 nevyšla v průběhu měření jako stabilní.

5.4.5 Stanice 2440

Nezpracovávají se 4V motory, jelikož u nich nebyla po celou dobu sledování zaznamenána žádná chyba.

Nezpracovávají se ani motory celkem, jelikož jejich chybovost silně ovlivňuje který druh motoru se zrovna vyrábí a tudíž by jejich kontrolní diagram nebyl reprezentativní.

2V nevyšly v průběhu měření jako stabilní. Graf je uveden v příloze.

5.4.6 Stanice 2500

Nezpracovává se položka Dosiermeng, jelikož u ni nebyla po celou dobu sledování zaznamenána žádná chyba.

U motorů celkem se nezpracovávají ani položky RSH7Typ...RSH12Typ a RSH7Lage...RSH12Lage, jelikož jejich grafy se shodují s grafy stejných položek u motorů 4V.

Jako stabilní vyšly u 2V motoru jen položka RSH6-Typ. U 4V motorů a motorů celkem vyšla jako stabilní jen položka Kontr DMA. Zbytek sledovaných položek nám v průběhu měření nevyšel jako stabilní.

5.4.7 Stanice 2750

Nezpracovává se položka tmelení, jelikož u ni nebyl po celou dobu sledování zaznamenán jediný motor který by nebyl označen za chybný.

Žádná z položek stanice 2750 nevyšla v průběhu měření jako stabilní.

6 Diskuse výsledků

Zde bude uveden souhrn výsledků, které nám vyšly s jejich stručným komentářem.

U výsledků vzájemné závislosti závad předpokládáme, že stanice pracuje jako jeden celek pro všechny motory stejně - neprovádějí se žádné změny na stanici při změně druhu vyráběného motoru, a tudíž pro zamítnutí hypotézy o nezávislosti jednotlivých závad této stanici uvažujeme další podmínku - a to, aby se tato hypotéza zamítla pro danou položku pro všechny druhy motorů.

V průběhu práce na tomto diplomovém projektu se ukázalo, že tuto linku netíží ani tak chyby motorů (skutečné chyby)- jejich výskyt je jen sporadický, ale častější problém jsou zde chyby stanic (pseudochyby) - chyby, které jsou jen hlášeny, ale ve skutečnosti se nejedná o chybu na motoru, nýbrž jen o chybné hlášení.

Veškeré následující tvrzení v této kapitole vyšly se spolehlivostí větší než 95%.

6.1 Stanice 2120

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

O nezávislosti jednotlivých závad nelze nic říci.

Pro všechny motory vyšla lepší ranní směna oproti odpolední, což odpovídá i námi určenému časovému průběhu.

Dále vyšly lepší 2V motory proti 4V motorům.

Ke konci odpolední směny roste počet hlášených chyb.

6.2 Stanice 2240

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

Hypotéza o nezávislosti závad se zamítá pro dvojice položek KontrPIDk1-KontrPIDk3, KontrPIDk2-KontrPIDk3 a KontrLgSc1-KontrLgSc2. Pro tyto dvojice položek zamítáme hypotézu nezávislosti pro všechny druhy motorů, pro které lze u těchto položek použít test. Tedy nejčastěji se vzájemně zaměňují ojnice s ojnicí 3, a pokud je zjištěna nepřítomnost pánve pod ojnicí 1, tak je zjištěna i pod ojnicí 2 a opačně.

Pro test hypotézy o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny u případů, kdy se tato hypotéza zamítá viz. kap. 5.2.2., až na jednu výjimku vyšla lepší ranní směna.

U položek, kde se zamítá hypotéza o shodnosti chybovosti 2V a 4V motorů nám vždy vyšly lépe 2V motory.

Časový průběh pravděpodobně nijak neovlivňuje čas.

6.3 Stanice 2260

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny druhy motorů, tak pro stanici před, i po úpravě.

U původního uspořádání byla lepší odpolední směna než ranní. U nového uspořádání této stanice nebyl zjištěn významný statistický rozdíl mezi směnami.

Hypotézu o shodě chybovosti 2V a 4V motorů se nepodařilo zamítnout jak pro stanici před, tak ani pro stanici po úpravě.

Hypotéza o shodě chybovosti stanice při starém uspořádání a u stanice při novém uspořádání se zamítá. Stanice s novým uspořádáním má výrazně méně hlášených závad. Časový průběh pravděpodobně nijak neovlivňuje čas.

6.4 Stanice 2320

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

Pro test hypotézy o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny nám u případů, kdy tuto hypotézu zamítáme viz. kap. 5.2.4., vyšla vždy lepší ranní směna.

Hypotézu o shodnosti závad u 2V a 4V motorů se nám nepodařilo zamítnout u žádné položky.

Hypotézu o nezávislosti závad zamítáme, resp. nezamítáme viz. tab. 39:

	K02	K03	K04	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13
K01	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K02		nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K03			nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K04				nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K06					nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K07						nez	nez	nez	nez	nez	nez
K08							zam	nez	nez	nez	nez
K09								nez	nez	nez	nez
K10									nez	zam	nez
K11										nez	zam
K12											nez
	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24
K01	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K02	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K03	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K04	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K06	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K07	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K08	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
K09	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
K10	zam	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	zam	zam	nez
K11	nez	zam	nez	zam	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K12	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	nez	nez	nez
K13	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K14		nez	zam	nez	zam	nez	zam	nez	nez	zam	nez
K15			nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K16				nez	zam	nez	zam	nez	nez	zam	nez
K17					nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
K18						zam	zam	nez	zam	zam	nez
K19							zam	nez	nez	zam	nez
K20								nez	zam	zam	nez
K21									nez	nez	nez
K22										nez	nez

	K22
K23	nez

TABULKA 39: CELKOVÁ ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2320

Z časového průběhu je patrný pokles chybovosti mezi 6. a 7. hodinou.

6.5 Stanice 2440

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

Nebyl zjištěn významný statistický rozdíl mezi směny, dále vyšly lepší 4V motory oproti 2V motorům.

Časový průběh pravděpodobně nijak neovlivňuje čas.

6.6 Stanice 2500

Kontrolní diagram je, kromě položek Kontr-DMA u motorů celkem a 4V motorů a RSH6-Typ u 2V motorů, nestabilní jak pro všechny zbylé kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

Pro test hypotézy o shodnosti chybovosti ranní a odpolední směny u případů, kdy se tato hypotéza zamítá, vyšla vždy lepší odpolední směna.

U položek, kde se zamítá hypotéza o shodnosti chybovosti 2V a 4V motorů vždy vyšly lépe 2V motory.

Hypotézu o nezávislosti závad se zamítá, resp. nezamítá viz. tab. 40:

	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	7-L	8-L	9-L	10-L	11-L	12-L
1-L	zam	zam	zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
2-L		zam	nez	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
3-L			zam	zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
4-L				zam	zam	zam	nez	zam	zam	zam	zam
5-L					zam	zam	zam	zam	zam	zam	zam
6-L						nez	nez	zam	zam	zam	zam
7-L							nez	zam	nez	zam	zam
8-L								zam	nez	zam	nez
9-L									zam	zam	zam
10-L										zam	zam
11-L											zam
	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T	11-T
1-L	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
2-L	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
3-L	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
4-L	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
5-L	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez
6-L	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez	nez
7-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez	nez
8-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	nez	nez
9-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam
10-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	zam	nez
11-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam

	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T	11-T
12-L	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
1-T		nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
2-T			nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
3-T				nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
4-T					nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
5-T						nez	nez	nez	zam	nez	nez
6-T							nez	nez	nez	nez	nez
7-T								nez	nez	nez	nez
8-T									nez	nez	nez
9-T										zam	zam
10-T											zam
	1-L	2-L	3-L	4-L	5-L	6-L	7-L	8-L	9-L	10-L	11-L
12-T	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	zam
RSH	zam	nez	nez	nez	nez	nez	zam	zam	nez	zam	nez
DMA	nez	zam	nez	nez	nez	nez	zam	zam	nez	zam	nez
	12-L	1-T	2-T	3-T	4-T	5-T	6-T	7-T	8-T	9-T	10-T
12-T	zam	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
RSH	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez	nez
DMA	zam	nez	nez	nez	nez	nez	zam	nez	zam	nez	zam
					12-T	RSH	DMA				
				11-T	zam	nez	nez				
				12-T		nez	nez				
				RSH			zam				

TABULKA 40: CELKOVÁ ZÁVISLOST ZÁVAD PRO STANICI 2500

Mezi závislostmi lze vidět jakési tři podskupiny, pokud odhlédneme od drobných poruch těchto skupin:

1. *Skupina polohy vahadel* - u těchto položek až na výjimky zamítáme hypotézu o nezávislosti - tedy, spadne-li jedno vahadlo, patrně spadne i zbytek vahadélek.
2. *Skupina typu vahadel* - u těchto položek, až na výjimky zamítáme hypotézu o nezávislosti mezi typem a polohou daného vahadélka - tedy, spadne-li dané vahadélko, je označen i jeho chybný typ, jelikož stanice nenalezne určující body. A opačně, pokud je nasazen špatný typ daného vahadélka, je označena i jeho špatná poloha, jelikož stanice nenalezne určující body.
3. *Skupina Kontr-RSH a Kontr-DMA* - pravidlo, podle kterého je většinou u těchto položek zamítnuta hypotéza o nezávislosti závad se nepodařilo zjistit.

Časový průběh pravděpodobně vůbec neovlivňuje čas.

6.7 Stanice 2750

Kontrolní diagram je nestabilní jak pro všechny kontrolované položky, tak pro všechny druhy motorů.

Pro některé položky vyšla lepší ranní směna, pro některé odpolední, stejně tak u pro některé položky vyšly lepší 2V motory, pro některé 4V motory.

Z nákresu časové řady se zdá, že se chyby vyskytují pouze v oddělených okamžicích v početnějších skupinách.

7 Závěr

Práce byla zamýšlena jako zpracovávání souborů informací - chyb motorů na vybraných stanicích montážní linky motorů. Výskyt skutečných chyb je velmi malý, a proto byly zpracovány hlášené chyby včetně pseudochyb.

Na základě statistické analýzy byly určeny dominantní faktory jež ovlivňují jakost výroby. Z tohoto důvodu nemohl být splněn původní cíl: navrhnout opatření pro účinnější odhalování chybných motorů. Nebyl tedy splněn hlavní cíl, jako zástupný cíl byly zpracovány především pseudochyby, kterými se obsluha musí též zabývat. Každé chybné hlášení stojí operátorův čas a může odvést jeho pozornost od skutečné chyby a tím se též ovlivňuje chybovost motorů a následně zvýšené náklady na výrobu.

Soubor byl zpracováván na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statistické hypotézy o shodnosti chybovosti se testovaly pomocí hypotézy $H : p_1 = p_2$ pro binomické rozdělení.

Pro všechny kontrolované stanice by bylo vhodné pro zlepšení průběhu kontrolního diagramu stanovit počet zjištěných chyb. Po překročení této hranice by bylo vhodné pátrat po jejích příčinách a průběžně je odstraňovat. Jejich stanovení navrhuji podle regulačního diagramu np.

Zjištěné výsledky výskytu chyb na konkrétních montážních stanicích:

Stanice 2120 - kontrola montáže pístu

- při statistickém ověřování hypotézy o nárůstu chyb v průběhu výroby byl zjištěn statisticky významný rozdíl ve zvyšujícím se výskytu hlášených chyb mezi 19. a 21. hodinou. Na základě zjištěných skutečností doporučuji v 19 hodin vystřídat obsluhu kvůli možné únavě.

- při testování hypotézy o vlivu druhu motoru na výskyt chyb ve výrobě, se na dané stanici prokázalo, že při výrobě složitějšího 4V motoru se vyskytuje větší množství hlášených chyb než u jednoduššího 2V motoru.

Stanice 2240 - kontrola ojníc

- výsledkem statistického zpracování dat je tvrzení: zamítáme hypotézu o nezávislosti u 3 kontrolovaných dvojic položek z 15. U ostatních 12 dvojic ji nezamítáme. Např. nejčastěji se vzájemně zaměňují ojnice s ojnici číslo 3.

- zvýšená složitost 4V motorů má za následek i zvýšenou chybovost 4V motorů.

Stanice 2260 - tmelení bloku motoru

- na základě použitých statistických výpočtů bylo zjištěno, že změna kontroly, z kontroly pomocí tlakových čerpadel na kontrolu kamerovou, výrazně snížila pseudochybovost této stanice.

Stanice 2320 - utažení bloku motoru

- výsledky statistických výpočtů prokázaly snížení výskytu chyb po náběhu stroje do provozního stavu. Z toho důvodu navrhuji uvést stroj do stavu blízkého stavu provoznímu před zahájením ranní směny.

- při studiu závislostí jednotlivých závad byly zjištěny statisticky významné závislosti u 35 dvojic položek z 253 dvojic bez odhalení jejich příčiny. K jejich odhalení chyběly podrobnější údaje o dané stanici.

Stanice 2440 - založení těsnění pod hlavu válců

- výsledkem statistické hypotézy byla potvrzena zvýšená chybovost 2V motorů. Vskytuje se zde podezření, že se jedná o neshodu zaznamenaných informací se skutečnými hlášeními na stroji (červený a zelený signál pro obsluhu). Doporučuji se věnovat problematice rozdílů kontrolního hlášení na výstupech řídicího panelu stroje a uchovávání dat systému NEXUM.

Stanice 2500 - kontrola vahadélek

- hypotézu o nezávislosti jednotlivých položek zamítáme u 90 dvojic položek z 325. Vzájemně jsou závislé kontroly polohy vahadel a u daného konkrétního vahadla jeho kontrola polohy a typu. Tedy je-li např. označeno u vahadla že má špatnou polohu, pak je špatná poloha označena i u ostatních vahadel a zároveň je u tohoto vahadla oznčen i jeho chybný typ.

- mezi jednotlivými druhy motorů se zamítá hypotéza o shodnosti jejich chybovosti. 4V motory mají výrazně vyšší chybovost než 2V motory.

Stanice 2750 - tmelení prostoru pro vanu

- na této stanici se chyby vyskytovaly jen odděleně v jednotlivých okamžicích pravděpodobně vinou zasychání trysky tmeliče. Doporučuji ji preventivně čistit častěji.

- pro položku blatník byla pomocí testu statistických hypotéz určena u 4V motoru výrazně nižší hlášená chybovost než u 2V motorů, pro položky Olejování a Skutečné opravy se vyskytovalo výrazně méně chyb u 2V motorů.

- ranní směna byla statisticky významně lepší pro položku Blatník a odpolední směna pro položku Davka, což odpovídalo i časovému průběhu.

8 Literatura

- [1] Anděl J.: *Matematická statistika*, SNTL/ALFA, Praha 1978.
- [2] Anděl J.: *Statistické metody*, Matfyzpress, Praha 1993.
- [3] Fiala A.: *Statistické řízení procesů*, Inženýrské centrum BRNO, Brno 1995.
- [4] Chatfield Ch.: *The Analysis of Time Series An Introduction - Sixth Edition*, CRC Press LLC, Florida 2004.
- [5] Karpíšek Z.: *MATEMATIKA IV - Statistika a pravděpodobnost*, CERM, Brno 2003.
- [6] Montgomery D. C.: *Introduction to Statistical Quality Control, Fourth Edition*, John Wiley & Sons, New York 2001.
- [7] Pernikář J. - Tykal M. - Vačkář J.: *Jakost a metrologie*, CERM, Brno 2001.
- [8] Petrašová I. - Horálek V.: *Analýza systému měření*, Česká společnost pro jakost, Praha 2003.

9 Seznam příloh

Příloha k diplomové práci - kontrolní diagramy