



**Národní informační středisko
pro podporu jakosti**

Konzultační středisko statistických metod při NIS-PJ

Navrhování experimentů DOE

Doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.
VŠE Praha

RNDr. Jiří Michálek, CSc.
ÚTIA AVČR

20. října 2005.

Cíle

- ❖ vysvětlit rozdíl mezi pozorováním procesu a experimentováním s procesem;
- ❖ vysvětlit výhodu strategie „Navrhování experimentu“ (DOE) oproti experimentální strategii „Pouze jednoho faktoru“;
- ❖ vysvětlit situace, kde je DOE aplikovatelná.

Navrhování experimentu

Navrhování experimentu je přístup pro efektivní a účinné využití vztahu příčiny a následku mezi více faktory (X) procesu a výstupní či sledovanou proměnnou procesu (Y).

- ❖ Identifikuje několik “důležitých” zdrojů variability faktorů X.
 - Ty faktory, jež mají největší vliv na výsledky.
- ❖ Kvantifikuje **efekty** (vlivy) důležitých faktorů X, včetně jejich interakcí.
- ❖ Vytvoří rovnici, která kvantifikuje **vztah** mezi faktory X a Y.
 - Můžeme predikovat, jak velký bude zisk (či ztráta) způsobený změnou podmínek v procesu.

Přístupy k základní analýze příčin

Pozorujme proces

Pozorujme proces “jaký je” pomocí historických dat nebo speciálních studií.

- Časové řady, regulační diagramy, stratifikace.
- Korelační studie pomocí regresní analýzy.

Experimentujme s procesem

- Měňme proces plánovaným způsobem a měřme výsledky.
- Použijme návrhu experimentu (pro více než 1 faktor).

“Chceme-li přesně určit, co se událo v procesu, jestliže jsme do něj zasáhli, musíme do něj zasahovat a ne jej pasivně pozorovat.” (George E. P. Box)

Použití historických dat - některá omezení

Omezení existujících dat

Hodně organizací již má nějaká data z procesu a chtějí je použít k pochopení procesu a následnému zlepšení.

Tento přístup má jistá omezení, protože:

- ❖ Existující data často obsahují chyby.
- ❖ Zápisy jsou často neúplné.
 - Chybějící hodnoty.
 - Opomenuté faktory (X).
- ❖ Důležité faktory nemusely kolísat během doby, kdy se shromažďovala data.
- ❖ Faktory procesu mohly být navzájem korelovány - to vede k nesprávnému dojmu o jejich účinku na proces.
- ❖ V procesu došlo ke změnám a data nejsou aktuální.

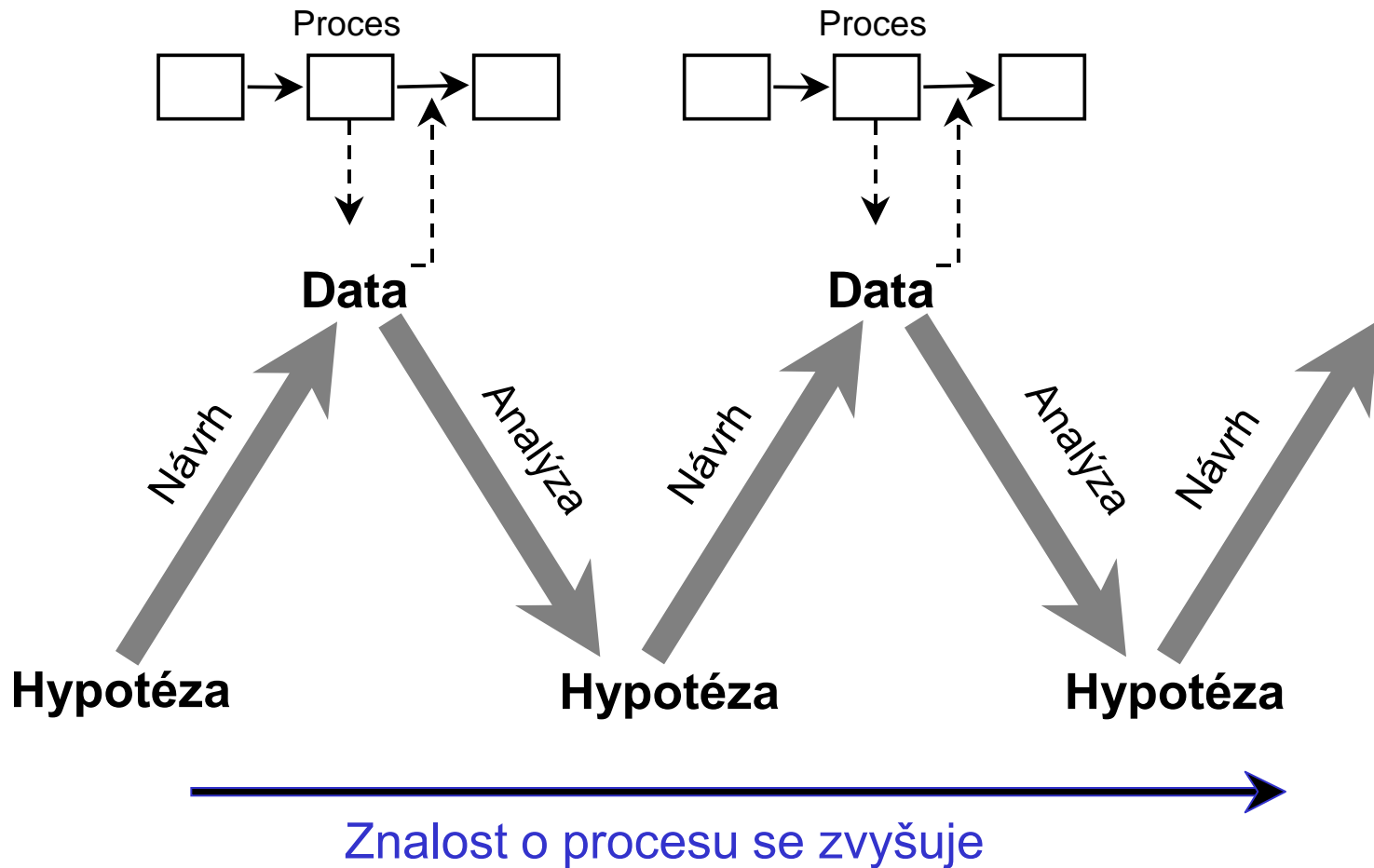
Poznámka:

Často je nemožné ověřit vztahy příčina-následek pomocí historických dat, jelikož jsme neměli žádnou kontrolu nad tím, jaké informace byly sbírány a jakým způsobem.

- V takových případech nemusíme ve skutečnosti chápat, co data reprezentují.
- Často bude nutné postoupit vpřed, a získat tak přesná, spolehlivá, aktuální data.
- Statisticky navržené experimenty vyžadují vysoce kvalitní data.

Experimentování s procesem

Testované hypotézy



Poznámka:

Při provádění změn v procesu, budme naladěni na experimentování a získávání nových poznatků.

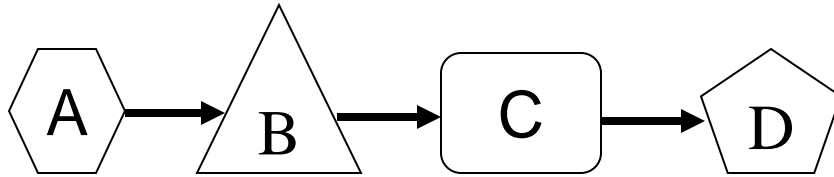
Experimentátor má hypotézu ohledně toho, jak něco funguje, nebo ohledně toho, co způsobuje výsledek s určitými účinky.

Experimentátor připraví návrh, provede několik testů se sběrem dat, následně data analyzuje, aby si ověřil, jak skutečné výsledky odpovídají hypotéze.

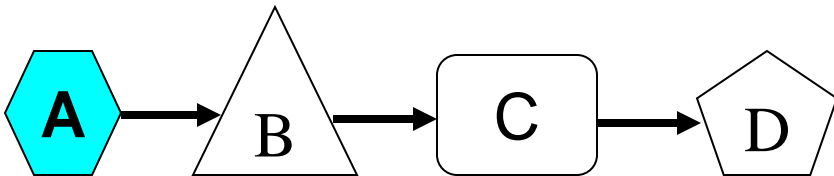
Experimentátor modifikuje současnou hypotézu nebo vyvine novou.

Tento proces: „hypotéza - experimentování - učení se - hypotéza“ pokračuje.

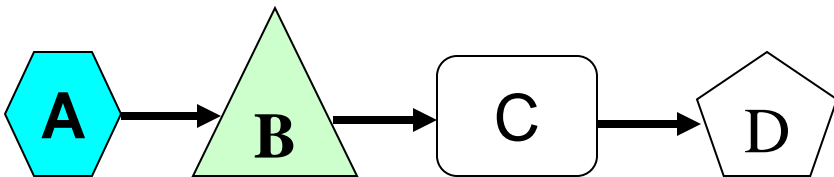
Tradiční přístup: Změna jediného faktoru



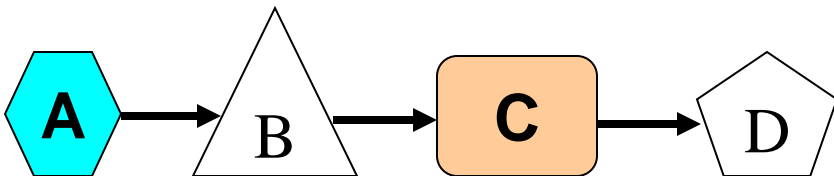
Základní linka kombinací podmínek



Změněn jeden faktor



Vedla-li změna k lepšímu, podržíme změnu a změníme další faktor



Pokud výsledky nejsou lepší, vrátíme se a změníme jiný faktor

1. Začneme s určitou sestavou nebo kombinací “standardních” podmínek k vytvoření výchozí pozice (někdy nazývaná “kontrolní skupina”).
2. Změníme *jednu* proměnnou, ostatní zůstávají neměnné. Porovnáme výsledky s výchozí pozicí.
3. Pokud jsou výsledky lepší, zůstává pozměněná proměnná konstantní při novém uspořádání (pokud nejsou lepší, proměnná se vrací do svého původního stavu).
4. Vybereme další proměnnou a změníme ji, přičemž další proměnné zůstávají konstantní.
5. Opakujte se krok #3 a #4.

Problémy s přístupem „změny pouze jednoho faktoru“

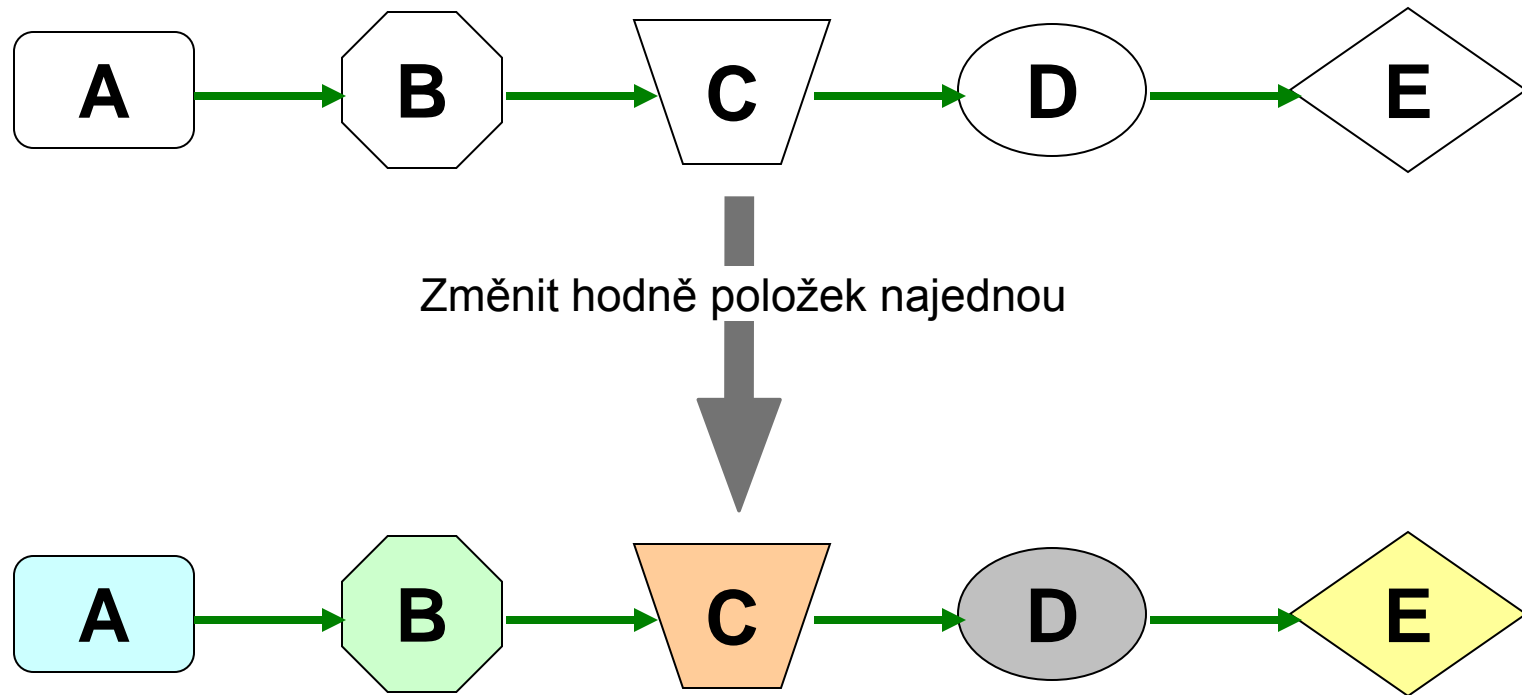
- ❖ Náhodné vlivy znesnadňují rozhodnutí, zda konkrétní nastavení (nebo podmínka) zlepšuje proces nebo ne.
- ❖ Sledování a analýza výsledků z různých kombinací se může stát nepřehledná pro více než čtyři faktory.
- ❖ Často se analýza zjednodušuje “vybráním vítěze”. Doporučuje se pak kombinace podmínek **bez znalosti**, které z faktorů jsou opravdu nepodstatné.
- ❖ Je nemožné zjistit, zda faktory jsou v interakci s jinými faktory.
 - K dispozici je omezená informace o efektu každého z faktorů (obvykle pouze jedno porovnání).
- ❖ Často lidé utratí čas nebo peníze ještě předtím, než se uspokojí s informacemi, jež získali.

INSTRUCTOR NOTES:

Continue discussion kicked off at previous slide. Ask for examples of one-at-a-time or sticking-with or offer one and describe.

Jiný typický přístup: Změnit všechny faktory najednou

Týmy často mění hodně faktorů procesu najednou, jakmile přijdou se spoustou nápadů ohledně toho, jak zlepšit proces. Chtějí uskutečnit tolik nápadů, kolik jen lze.



Poznámka:

Problémy s tímto přístupem

Nevíme, které konkrétní změny stojí za změnami ve výsledcích.

Můžeme učinit něco, co ve skutečnosti našim zájmům ublíží.

Je nemožné porozumět významům náklad / přínos u každé jednotlivé změny.

Často tento přístup nazýváme „implementací řešení“, ale každá neotestovaná procesní změna je vlastně *experimentem*, jelikož výsledky jsou neznámé.

Klíčové znalosti

- ❖ Intuitivní přístup k experimentu s více faktory se vztahuje k pozměňování vždy pouze jediného faktoru.
- ❖ Experiment, při němž se mění vždy pouze jeden faktor, může selhat při rozhodování, které faktory jsou důležité, a navíc je neefektivní, pokud jde o množství informací poskytnutých v každém experimentu.
- ❖ V takovém experimentu přítomnost variability v konstruovaném modelu, v testech a měření, může způsobit obtíže při stanovení efektů studovaných faktorů.
- ❖ Provádějme experimenty s velkou péčí. Věnujme pozornost procesu měření. Rozmysleme si předem, jak udržet konstantní ostatní proměnné, jež nestudujeme.

Shrnutí

Potřebujeme lepší přístup k experimentování, přístup, který:

- ❖ Produkuje výsledky, jimiž jsme si jisti.
- ❖ Dovoluje nám zjistit *skutečné* rozdíly, i když víme, že náhodné vlivy budou přítomné vždy.
- ❖ Rozliší mezi důležitými a nedůležitými faktory.
- ❖ Najde interakce mezi faktory.
- ❖ Kvantifikuje efekt každého z faktorů či interakce na sledovanou proměnnou.
- ❖ Produkuje rovnici, která umožní predikovat změny sledované proměnné na základě změn faktorů.
- ❖ Je jednoduchý pro analýzu.
- ❖ Je efektivní – maximalizuje informace nabyté ve vynaloženém čase (penězích) z celkového počtu měření

INSTRUCTOR NOTES:
Summarize what was covered so far.

Přístup k návrhu experimentu

Navrhovaný experiment

1. Identifikovat sledované proměnné
2. Identifikovat faktory
3. Zvolit návrh
4. Vybrat úrovně faktorů
5. Známhodnit kroky měření
6. Řídit experiment a shromažďovat data

Analýza experimentu

7. Analyzovat data
8. Vyhodnotit závěry
9. Ověřit výsledky

Probereme jednotlivé kroky....

INSTRUCTOR NOTES:

Introduce the concept of the Factorial Approach to DOE. It is important to seek expert help in DOE and even for experts to get second opinions or reality checks on their designs depending on the complexity.

Faktoriální přístup k navrhovanému experimentu

- ❖ Mění se několik faktorů současně, a ne po jednom faktoru.
- ❖ Nejdříve se začne jenom s 2 úrovněmi každého faktoru.
- ❖ Uvažují se **všechny možné kombinace** úrovní faktorů.
 - Je možné vyzkoušet všechny možné kombinace nebo **pečlivě vybrat jejich podmnožinu**.
- ❖ Jednoduše se vypořádá s náhodnými vlivy a použije je k určení, které faktory jsou důležité.
 - Replikace měření (opakované zkoušky při stejných kombinacích) umožňují zjistit velikost náhodných vlivů.
- ❖ Je jednoduchý pro analýzu.
- ❖ Používá metody, jež počítají i s jinými neřízenými faktory v experimentu (jako je známá chyba měření) a jsou stále platné.

INSTRUCTOR NOTES:

Introduce the concept of the Factorial Approach to DOE.

If there are MANY factors and you just don't know where to start a special case DOE called a screening DOE is advised – with these advanced techniques it is always advised that you consult with an expert to ensure a robust DOE.

Termíny a zápis

Faktory (X)

- Vstupní proměnná (proměnná procesu), kterou chcete studovat.

Úrovně faktorů

- Nastavení, úrovně nebo ošetření, jež chceme testovat pro každý faktor.
 - V dalším budeme uvažovat pouze 2 úrovně každého faktoru.

Krok měření

- Může se též nazývat test nebo zkouška.
- Souhrn úrovní faktorů, jež se testují nebo zkouší či měří v daném experimentu.

Poznámka:

Značení

Používáme “–” a “+” k určení dvou nastavení úrovní každého faktoru, rovněž zvané **dolní (-)** a **horní (+)** úroveň.

Pokud existuje **standardní** podmínka, obvykle je vyznačena jako mínus (–) a nová podmínka jako plus (+).

Tři faktory: Návrh plného faktoriálního plánu

Pokusy	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

Po spuštění se první faktor mění v každém kroku, zatímco další dva se mění vždy dvakrát pomaleji

– značí dolní úroveň
+ značí horní úroveň

Úplný faktoriální plán zahrnuje všechny možné kombinace (“dílčí faktoriální plány”, zahrnují podskupinu všech možných zkoušek).

Pro 3 faktory, každý na dvou úrovních, existuje $2 \times 2 \times 2 = 8$ možných kombinací úrovní.

$2 \times 2 \times 2$ je často zapsáno jako 2^3 . Horní index 3 značí počet uvažovaných faktorů. Pro 3 faktory existuje $2^3 = 8$ možných kombinací úrovní.

Příklad 2^3 faktoriálního návrhu:

• Experiment je zaměřen na zvýšení počtu zásahů sady 25 vržených terčů. Jsou uvažovány tři faktory:

a - ráže pušky (kalibr 12; kalibr 20),

b - počet možných opakování výstřelů
(6 ranná; 8 ranná puška),

c - délka rukojeti vrhače (krátká; dlouhá).

Zkouška	Ráže hlavně	Počet opakování	Délka rukojeti
1	12	6	krátká
2	20	6	krátká
3	12	8	krátká
4	20	8	krátká
5	12	6	dlouhá
6	20	6	dlouhá
7	12	8	dlouhá
8	20	8	dlouhá

Potřebný počet měření v Plném faktoriálním plánu

- ❖ Počet měření roste exponenciálně s každým faktorem.
- ❖ Pro většinu aplikací je testování všech možných kombinací příliš rozsáhlé.
 - Daleko překračuje rozpočet.
 - Je obtížné řídit a dodržovat vytčenou cestu.

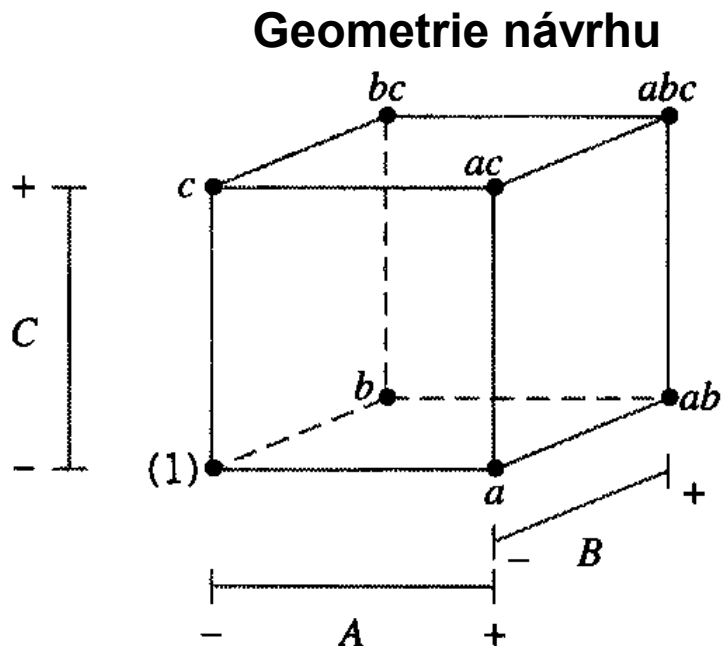
INSTRUCTOR NOTES:
Discuss the number of runs and why it becomes difficult as the number increases.

Shrnutí: Faktoriální přístup (2^k)

- ❖ Mění-li se vždy pouze jeden faktor, pak se vyšetřuje jenom část experimentálního prostoru, protože se neuvažují všechny kombinace faktorů.
- ❖ Plné faktoriální plány:
 - Pokrývají celý experimentální prostor tím, že se testují všechny kombinace úrovní faktorů.
 - Dají se jednoduše sestavit, protože se vzor opakuje (ve standardním pořadí).
 - Dávají 4 krát nebo více informací o efektech faktorů (v porovnání se změnou jednoho faktoru).
 - Mohou identifikovat a pomoci porozumět interakcím mezi faktory.
 - Jednoduše se analyzují.
 - Mohou kvantifikovat vztah mezi faktory X a sledovanou proměnnou Y (produkují rovnici).

Shrnutí: Faktoriální přístup (2^k), pokr.

- ❖ Experimenty s 3 faktory mohou být prezentovány jako krychle.
- ❖ Nevýhodou Plných faktoriálních plánů je to, že se rychle dosáhne velkého počtu měření.
 - Pro 2-úrovňový experiment je počet měření = 2^k , kde k = počet faktorů.



Matice návrhu

A	B	C	
-	-	-	(1)
+	-	-	a
-	+	-	b
+	+	-	ab
-	-	+	c
+	-	+	ac
-	+	+	bc
+	+	+	abc

Replikace

Definice

Replikací se rozumí opakování všech kombinací úrovní faktorů experimentu (nebo kombinací měření) dvakrát nebo vícekrát.

- ❖ To neznamena, že se jenom měří nějaká jednotka dvakrát.
- ❖ To skutečně představuje opakování jisté sady úrovní a naměření *nových* výstupních hodnot.
- ❖ Dvě replikace představují pro 8-krokový plán celkem 16 měření v jednom experimentu.
 - Minitab znáhodňuje všechny kroky měření ve stejném čase (včetně replikací).
 - Jestliže z nějakého důvodu to nechceme nebo se rozhodneme, že všechna měření nebudou ve stejném čase, pak musíme použít “bloky”.
 - Jedna replikace ve skutečnosti znamená opakování.

INSTRUCTOR NOTES:
Introduce the concept of replication – make note that replication is NOT a second run with the same part. Give examples or prompt for examples of situations that could force a need for blocking.

Proč se provádějí replikace

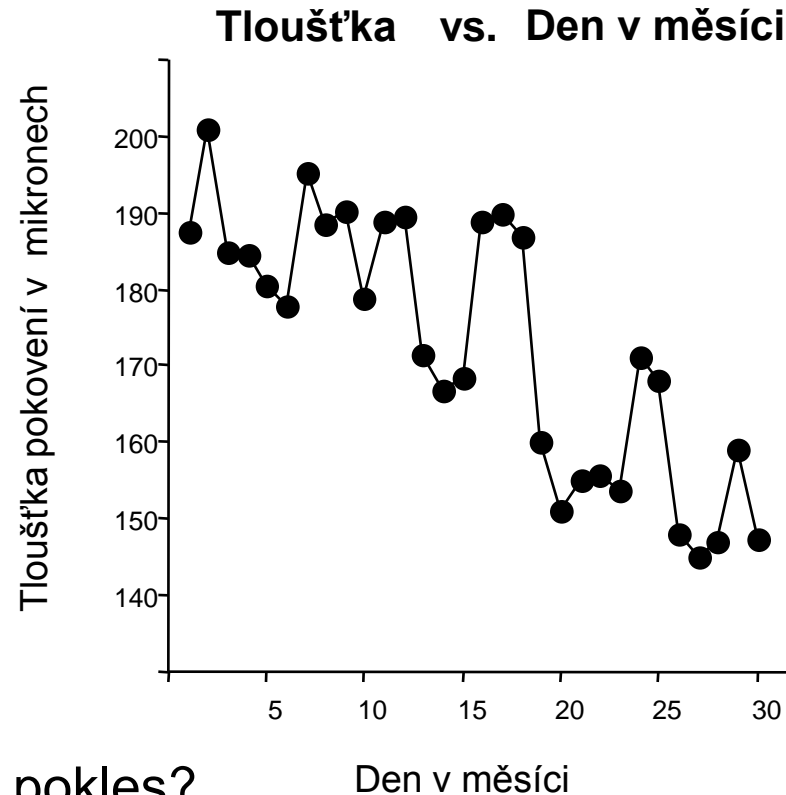
- ❖ K měření **náhodné chyby**: velikost variability mezi jednotlivými kroky provedenými za stejných experimentálních podmínek (představuje náhodné vlivy).
- ❖ Aby bylo jasné, zda je faktor důležitý či ne. Je rozdíl mezi pozorovanými hodnotami významný vzhledem k rozdílným úrovním faktoru (způsobený nenáhodnými příčinami) nebo je způsobený pouze náhodnými vlivy?
- ❖ Aby byl vidět vliv změny úrovně faktoru nejen na průměrnou hodnotu odezvy (sledované proměnné) Y , ale též na variabilitu Y , pokud si to přejeme (dvě hodnoty Y mohou být analyzovány: střední hodnota, směrodatná odchylka).

INSTRUCTOR NOTES:
Discuss why we do
replications.

Proč znáhodňovat: Příklad

Podstata

Předpokládejme, že tloušťka pokovení na deskách tištěných spojů je odezva (sledovaná veličina) Y . Můžeme si všimnout, že hodnoty mají klesající tendenci během měsíce



Co může vysvětlit tento pokles?

Poznámka:

Pokud bychom **si nebyli vědomi** měsíčního cyklu (změna lázně během měsíce), jak bychom přiznali vliv teploty tloušťce pokovení?

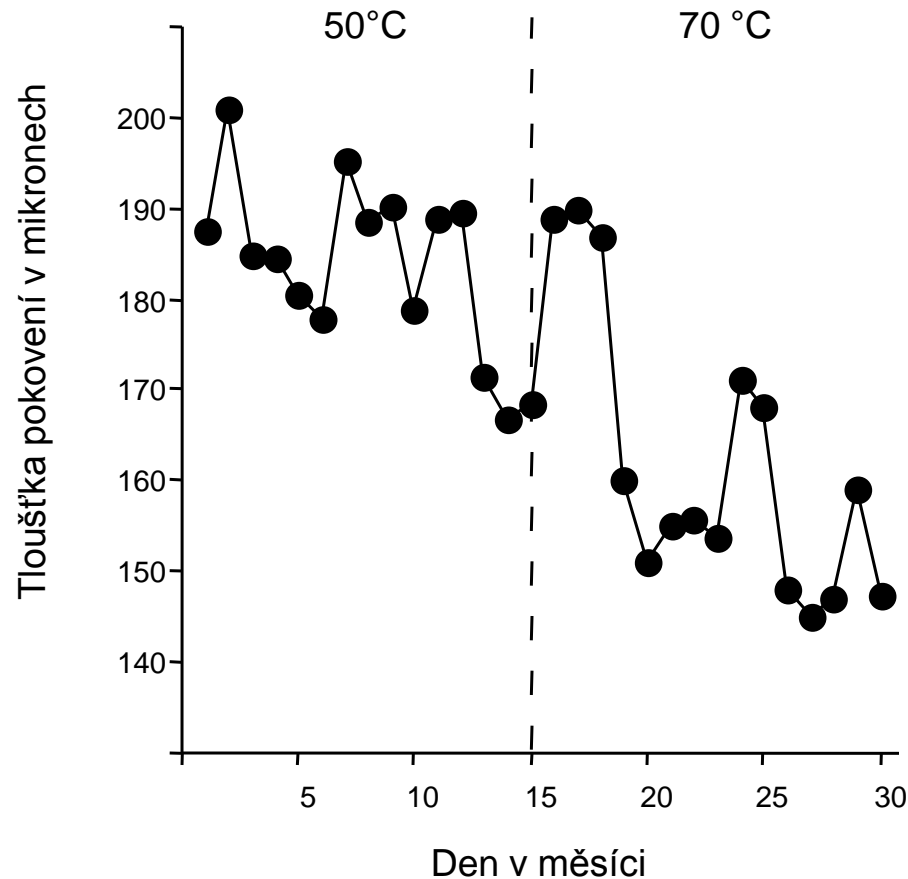
Pokud **bychom si** ho **uvědomovali**, jaký závěr bychom vyvodili?

Znehodnocování lázně (sestupný trend) zakrývá faktoriální účinky v návrhové zkoušce standardního postupu.

Proč znáhodňovat: Příklad, pokr.

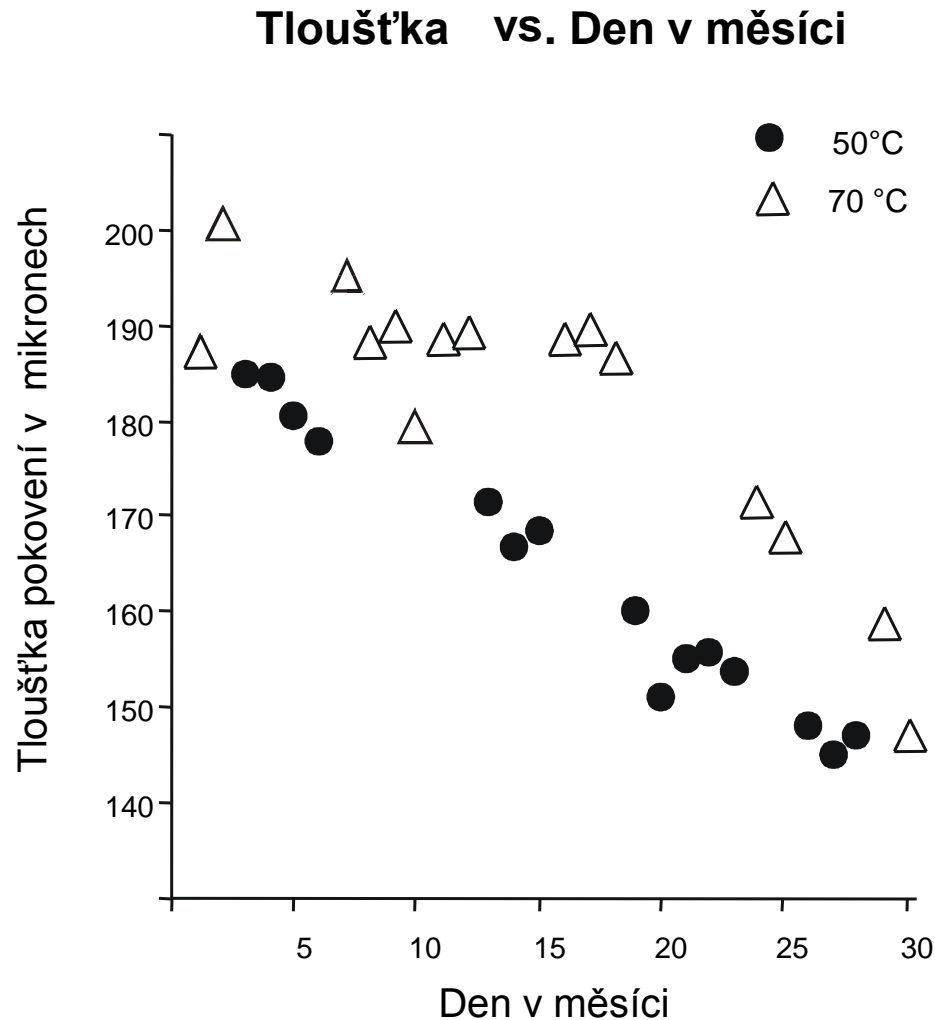
Předpokládejme, že v experimentu pro zjištění vlivu teploty lázně se provádí test nejdříve při 50°C a pak při 70°C .

Tloušťka vs. Den v měsíci



Proč znáhodňovat: Příklad, pokr.

Co když obě teploty byly testovány náhodně v průběhu měsíce?



Poznámka:

At' jsme si byli či nebyli vědomi měsíčního cyklu, jaký závěr bychom vyvodili ohledně účinku teploty?

Ve znáhodněném experimentu je efekt teploty viditelný i přes změny v průběhu měsíce.

Skryté proměnné

Definice

Skrytá proměnná je taková proměnná, která má významný vliv, ale ještě není zahrnuta mezi faktory v našich úvahách, protože:

- Není známá její existence.
- Myslíme si, že její vliv je nepatrný.
- Data o ní jsou nepoužitelná.

Ochrana

- Znáhodnění pořadí pokusů měření slouží k zabezpečení proti vlivu skrytých proměnných.
- Jestliže skrytá proměnná způsobuje trend, pak to může být odstraněno numerickou analýzou.
- Navzdory přítomnosti skrytých proměnných, můžeme dosáhnout správných závěrů o faktorech experimentu.

Kde jsme?

Dokončili jsme prvních
šest kroků

Plán experimentu

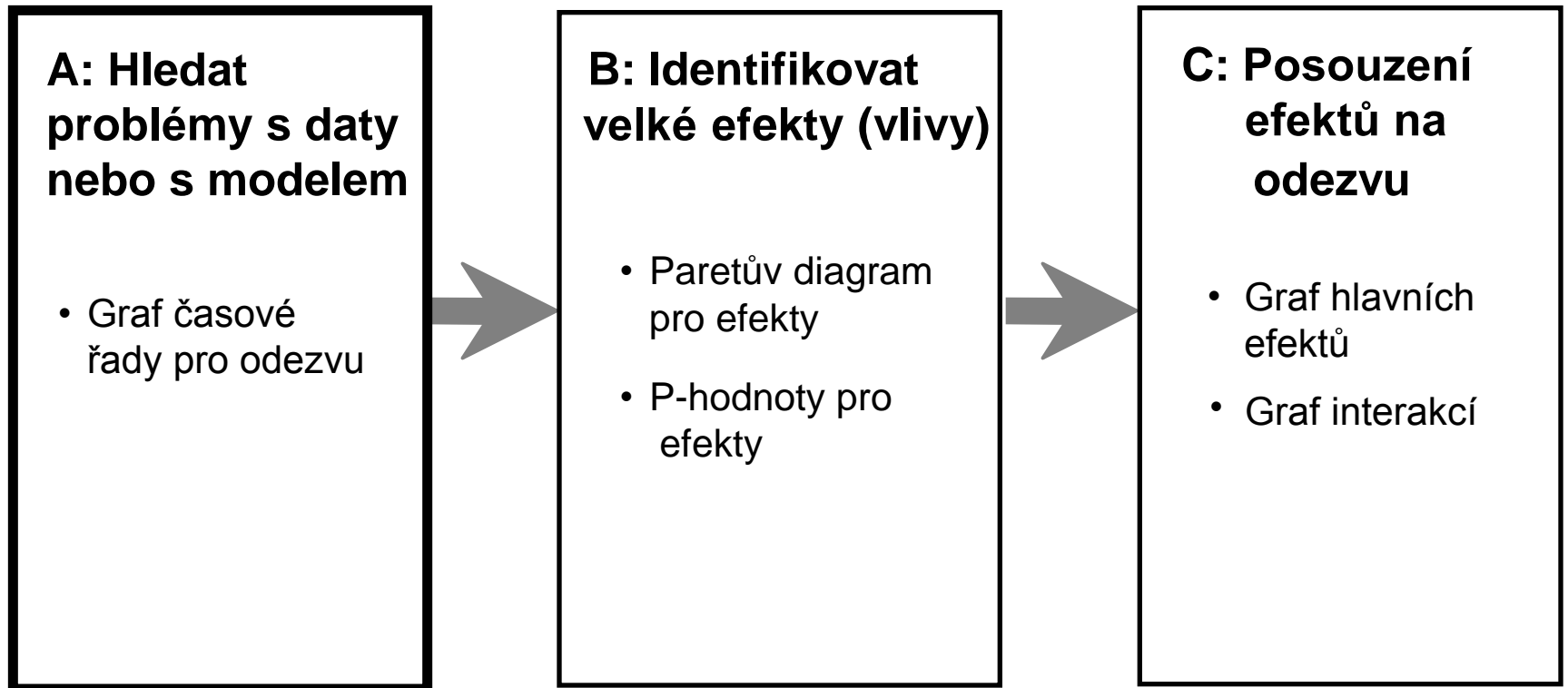
- ✓ 1. Určit odezvu – sledovanou prom. Y
- ✓ 2. Identifikovat faktory X
- ✓ 3. Zvolit plán
- ✓ 4. Vybrat úrovně faktorů
- ✓ 5. Známhodnit kroky měření
- ✓ 6. Řídit experiment a zapisovat data

Analýza experimentu

- 7. Analyzovat data
- 8. Vyvodit závěry
- 9. Ověřit výsledky

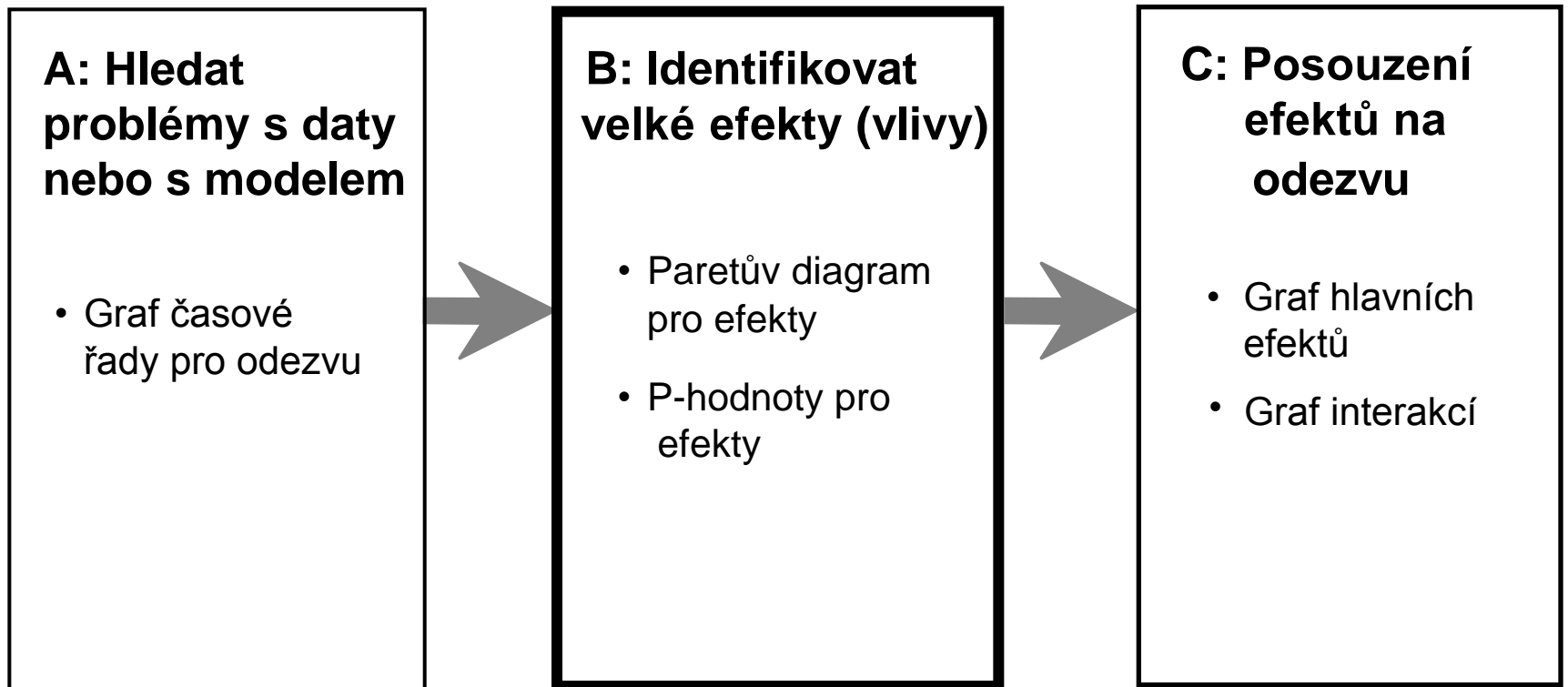
Krok 7: Analýza dat

Tři fáze analýzy dat



Krok 7: Analýza dat, pokr.

Jakmile jsme zjistili, že s daty nejsou žádné problémy, můžeme hledat faktory X, jež mají největší vliv (efekt) na odezvu Y.



Krok 7B: Identifikovat velké efekty

Dva typy efektů

1. Hlavní efekty faktorů

- Celkový efekt všech faktorů na odezvu

2. Efekty interakcí

- Spolupůsobení mezi kladnými a zápornými faktory

INSTRUCTOR NOTES:
Introduce the two types of effects.

Discussed in more detail on subsequent slides.

Definice hlavního efektu

Definice

Hlavní efekt je průměrné zvýšení (či snížení) hodnoty odezvy, jestliže faktor se změní od dolní po horní úroveň faktoru.

Vzorec pro výpočet hlavních efektů pro každý faktor:

$$\text{HLAVNÍ EFEKT} = \left(\begin{array}{c} \text{Průměr ze všech} \\ \text{měření na} \\ \text{horní (+) úrovni} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Průměr ze všech} \\ \text{měření na} \\ \text{dolní (-) úrovni} \end{array} \right)$$

INSTRUCTOR NOTES:

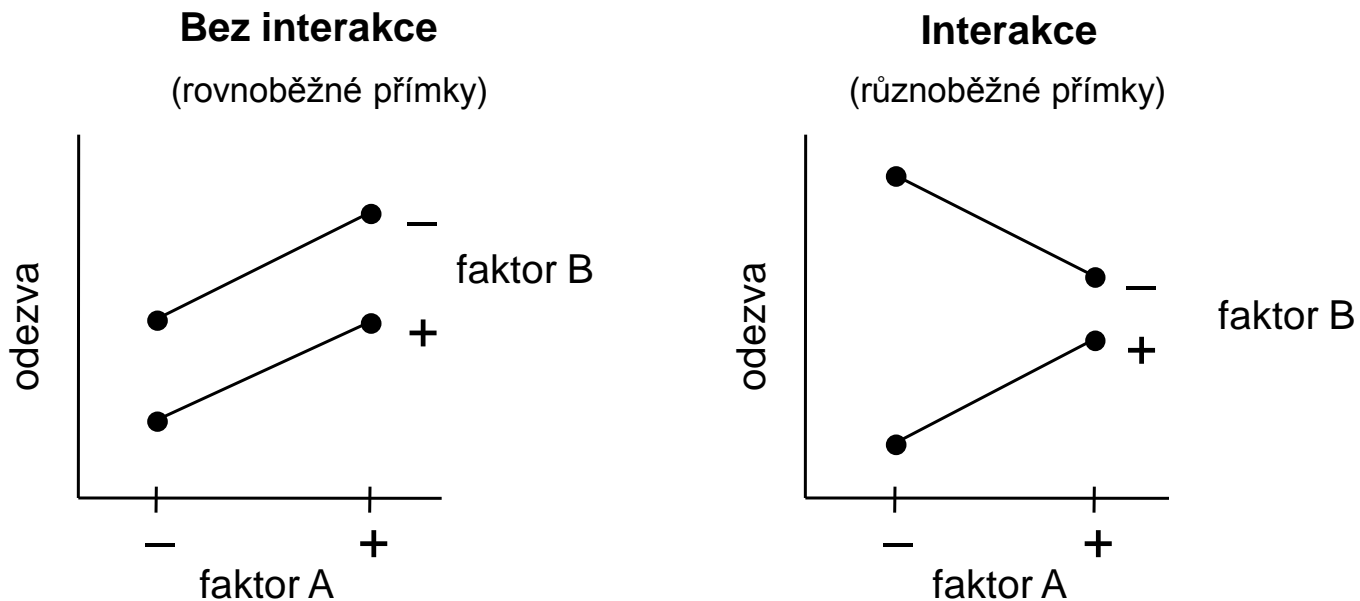
Introduce the definition of the main effect. Again, the case study and “Pack Time” versus knit lines can be referenced.

Also – if not clear, it is worth noting here that a data set that was NOT created as a result of DOE cannot be used for DOE analysis.

Efekty Interakcí

Definice

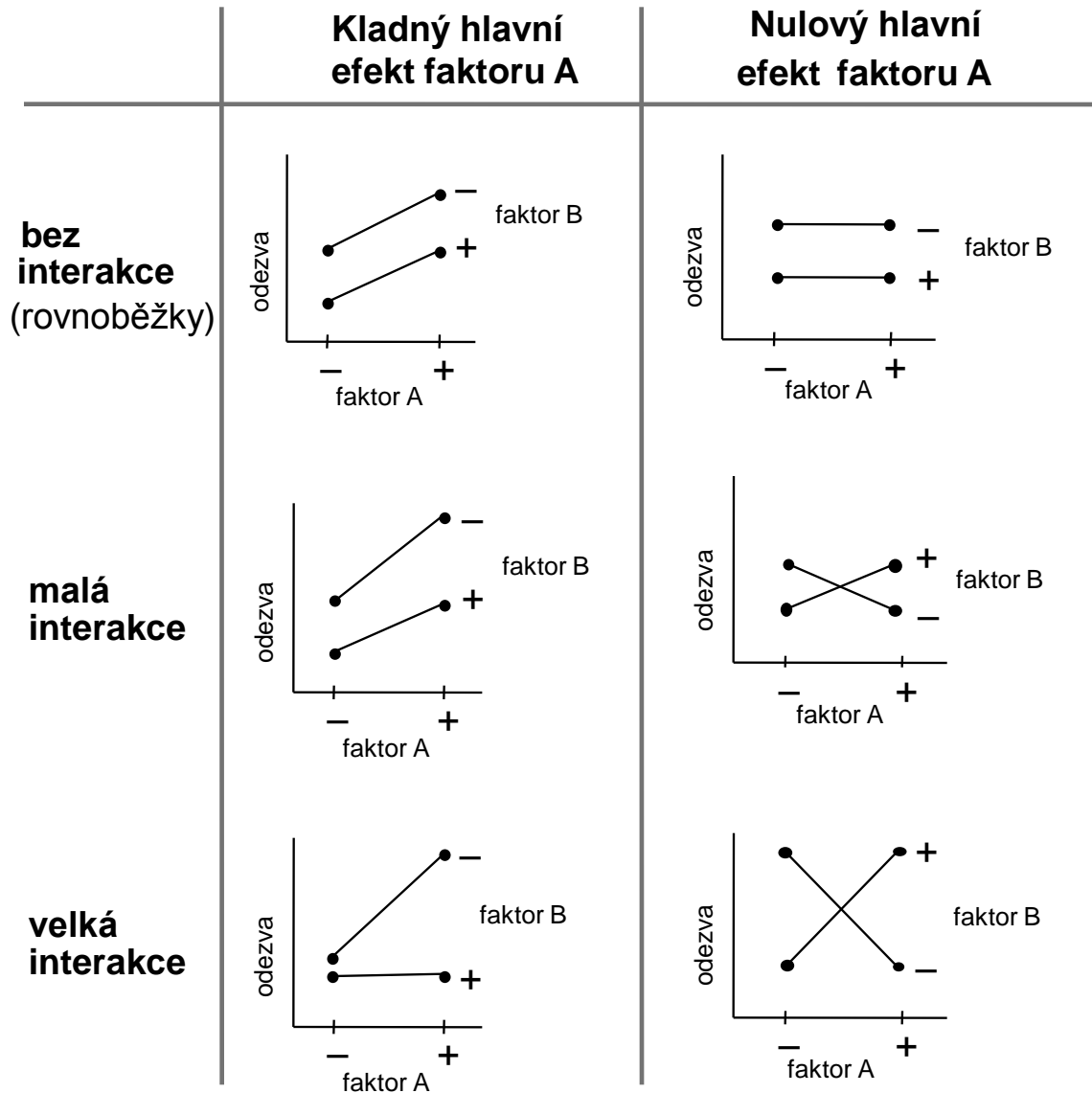
Interakce je přítomna, jestliže efekt jednoho faktoru na odezvě Y není stejný pro všechny úrovně jiného faktoru.



Vzorec pro výpočet efektů interakcí :

$$\text{interakce AB} = \frac{(\text{efekt A pro horní B}) - (\text{efekt A pro dolní B})}{2}$$

Interpretace grafů interakcí



Zkratky pro názvy faktorů a interakcí

- ❖ Někdy Minitab zkracuje jména faktorů tím, že jim přiřazuje písmeno:
 - A: prodejce
 - B: velikost
 - C: ohřev
- ❖ Interakce jsou obecně zapisovány různými způsoby
prodejce*velikost = prodejce x velikost = A*B = A x B = AB
- ❖ Pro dva faktory je možná jediná interakce: AB
- ❖ Pro tři faktory jsou 4 možné interakce
 - Tři interakce 2. řádu: AB, AC, BC
 - Jedna interakce 3. řádu: ABC
- ❖ Pro čtyři faktory existuje 11 možných interakcí
 - Šest 2. řádu: AB, AC, AD, BC, BD, CD
 - Čtyři 3. řádu: ABC, ABD, ACD, BCD
 - Jedna 4. řádu: ABCD

INSTRUCTOR NOTES:

Ensure student understand that Minitab may assign letters in place of names.

Next slide proposes to start walking through an example Which will make interaction things more clear . . .

Rozhodování, které efekty jsou velké (významné)

Existuje pět způsobů jak rozhodnout, které efekty jsou velké :

- P-hodnota pro každý efekt
- Paretův diagram efektů
- Normální pravděpodobnostní graf efektů
- Grafy hlavních efektů
- Grafy interakcí

Budeme procházet příklady Minitabu, abychom ukázali všechny tyto možnosti.

INSTRUCTOR NOTES:

Working through the paper clip example (MSD.mtw and MSDexamp.mtw) can be used to cover the content of the rest of this module, but refer to the slides for those students who appreciate that. Review above bullet points before moving on to main effects and interaction plots with example.

Práce s Minitabem : DOE

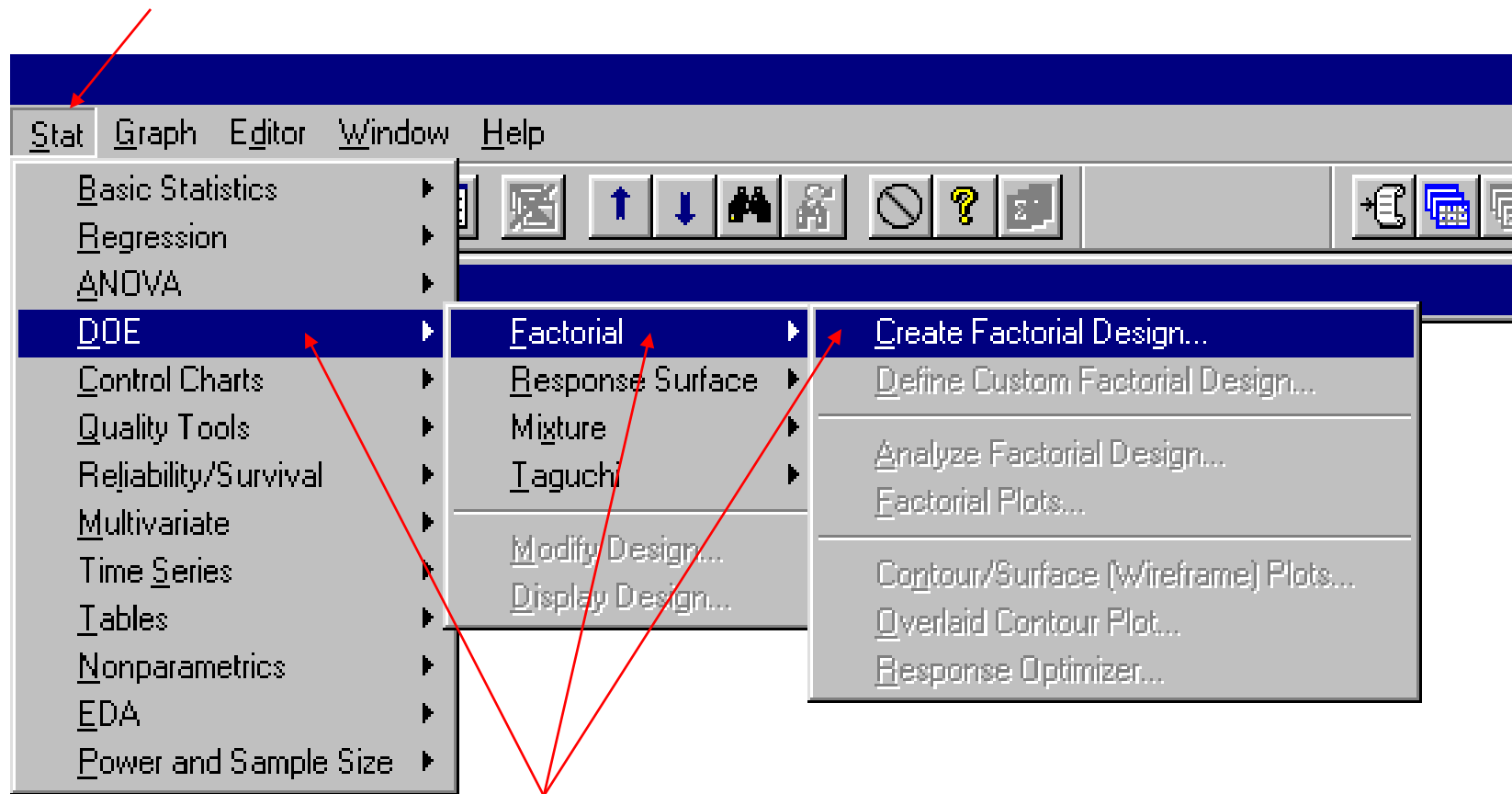
Cíl:

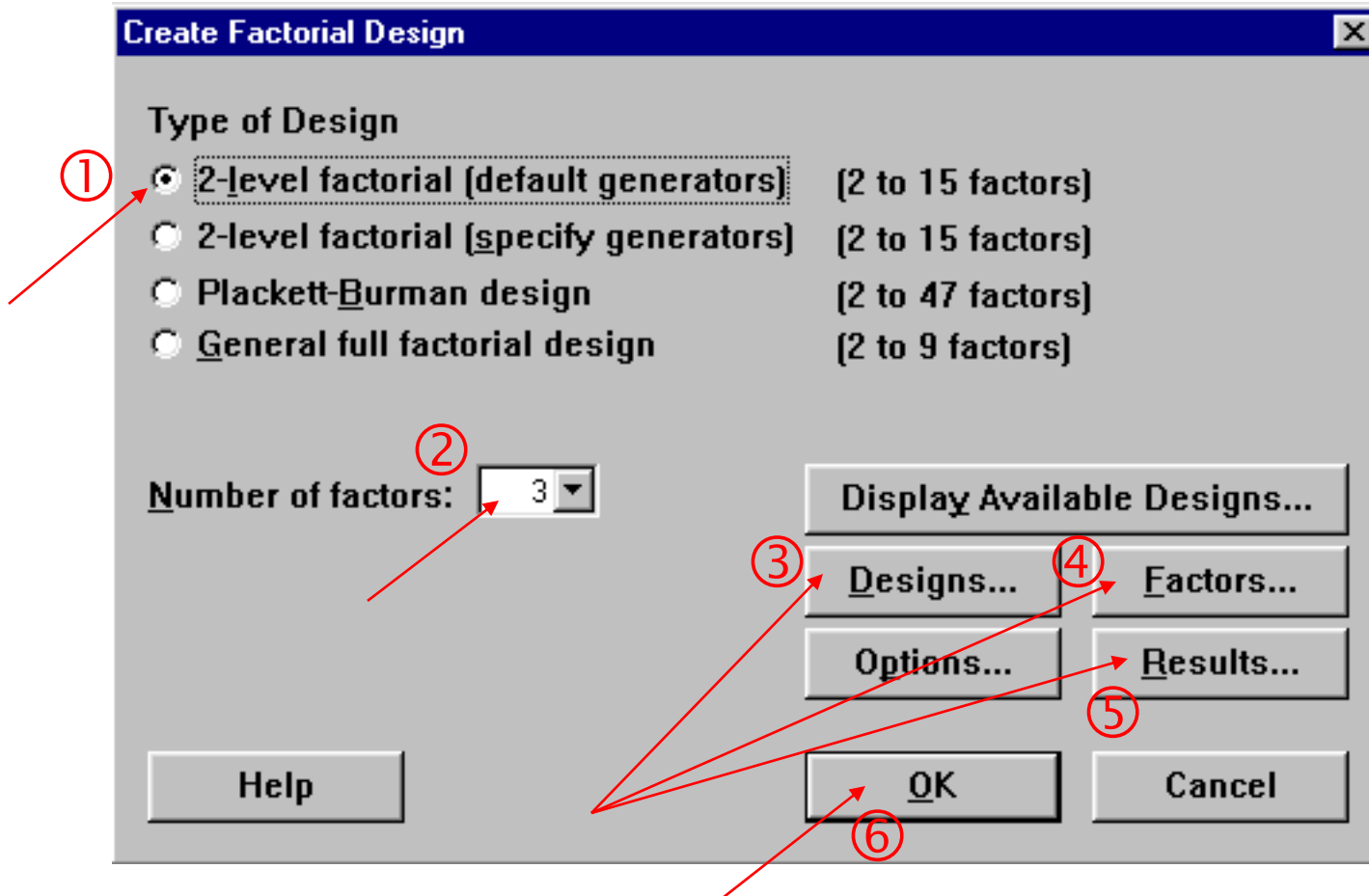
získat zkušenost s navrhováním experimentů. Nákupní agent dostává stížnosti ohledně momentálně používaných svorek – jsou lámavé a nemohou být použity víckrát po sobě. Ve snaze najít nejlepší papírové svorky agent se rozhodl pro návrh experimentu.

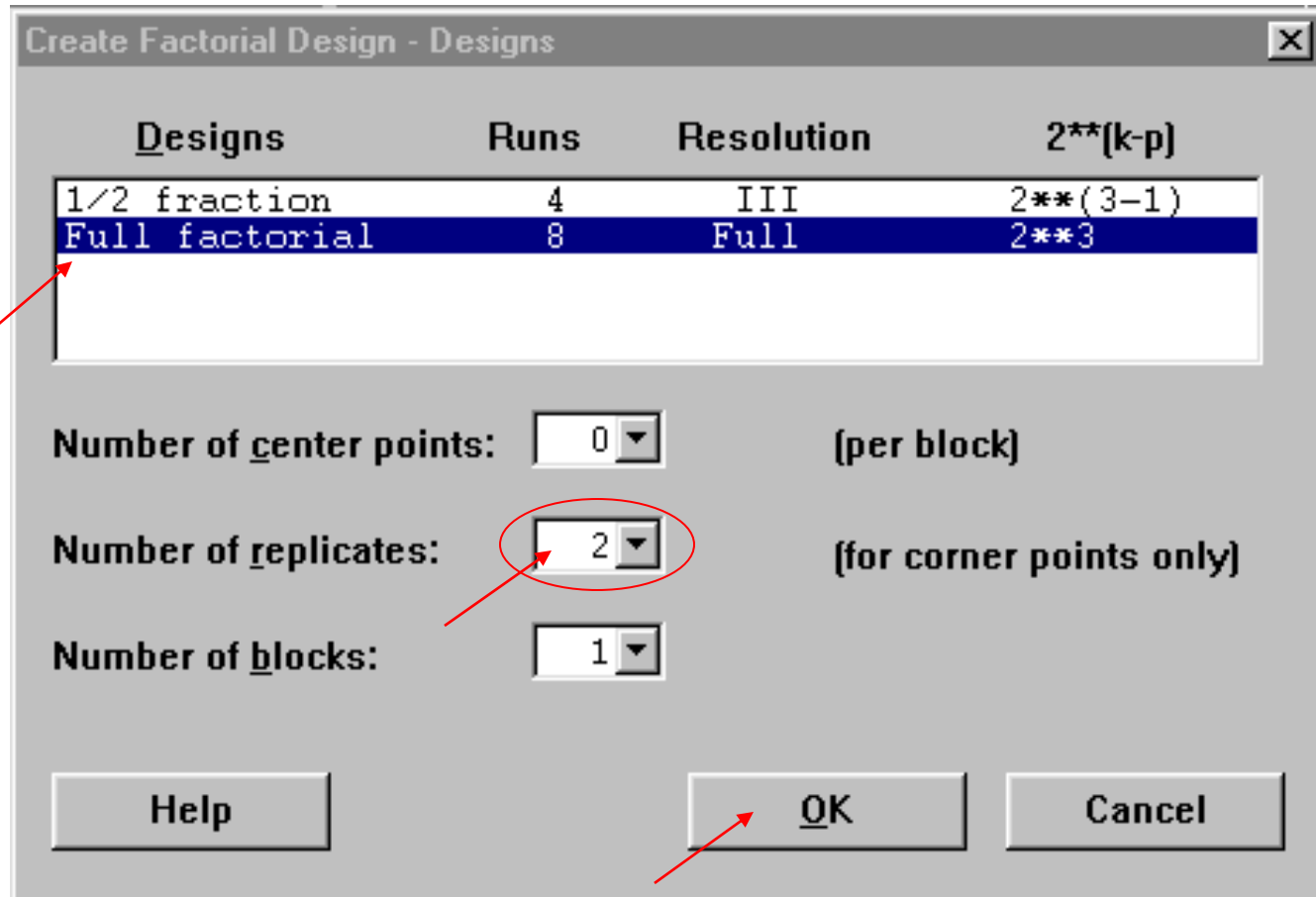
Výstupem (Y) bude počet ohnutí dřívě, než se svorka pokazí. Bylo rozhodnuto sledovat faktor A: prodejci (*Vendor, Supplier*) (Novak, Akim), faktor B: velikost (*Size*) (No1 a No2) a faktor C: tepelné zpracování (*Heat*) (Ne, Ano).

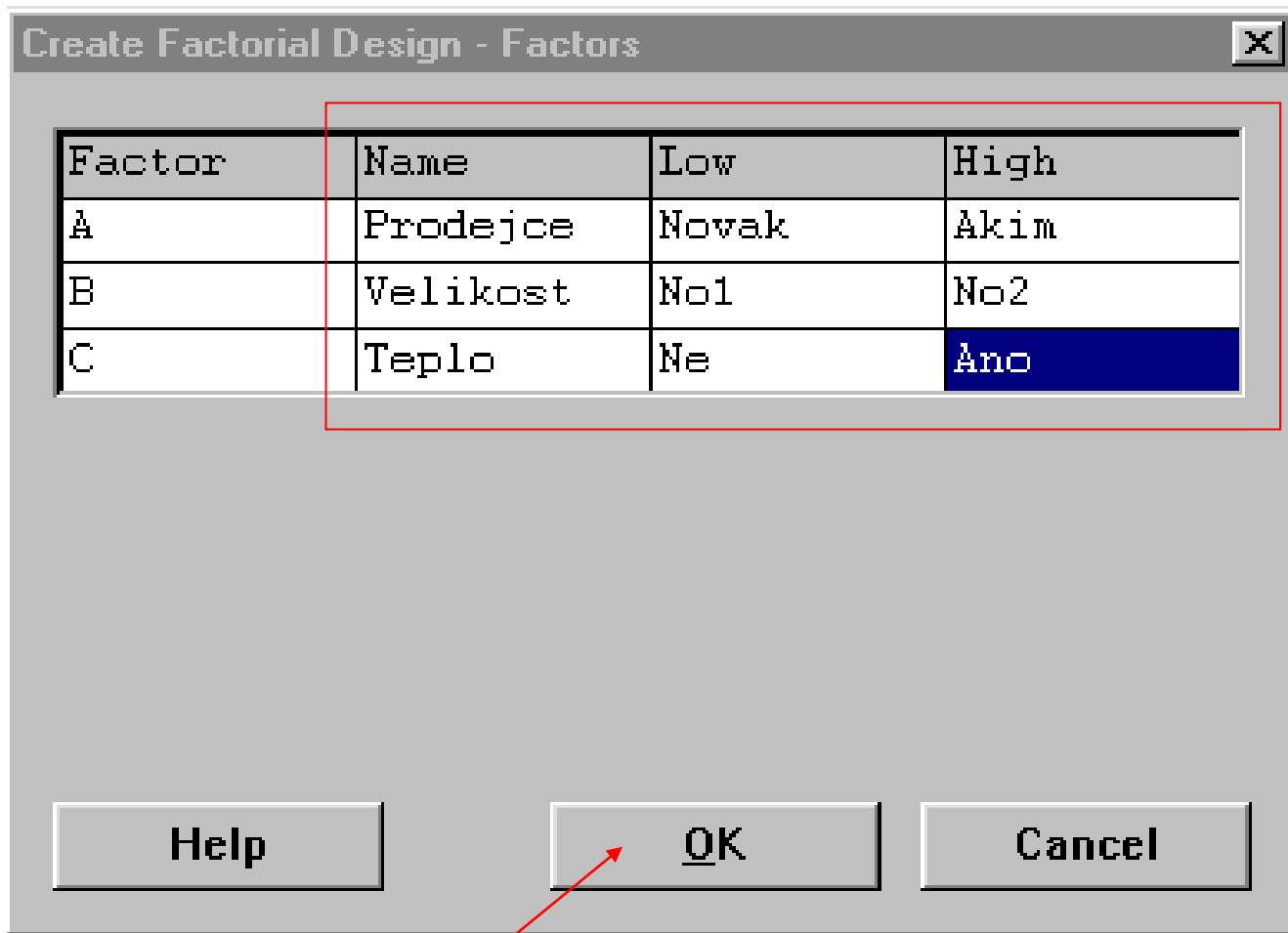
Data: Minitab\Svorky.mtw

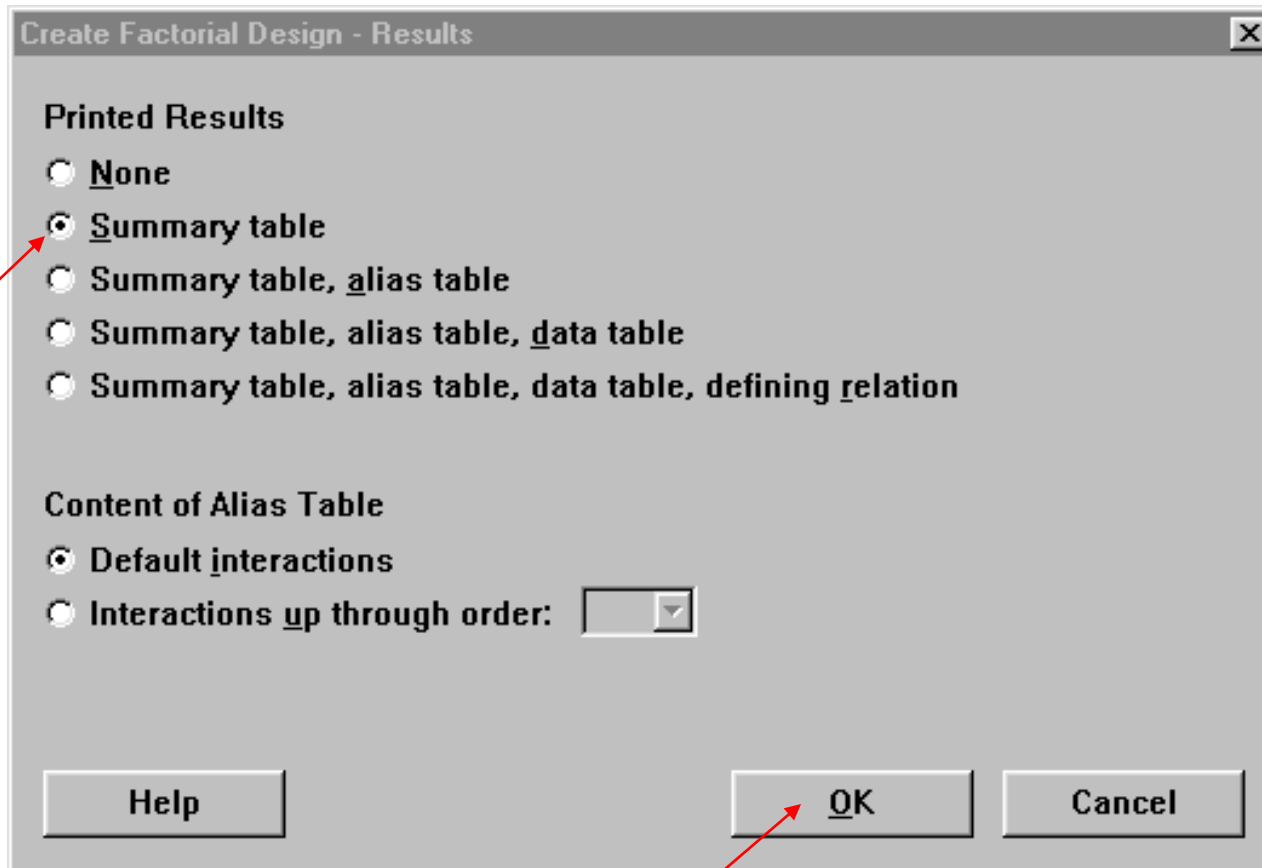
Vyhledat vhodný návrh experimentu typu 2^3



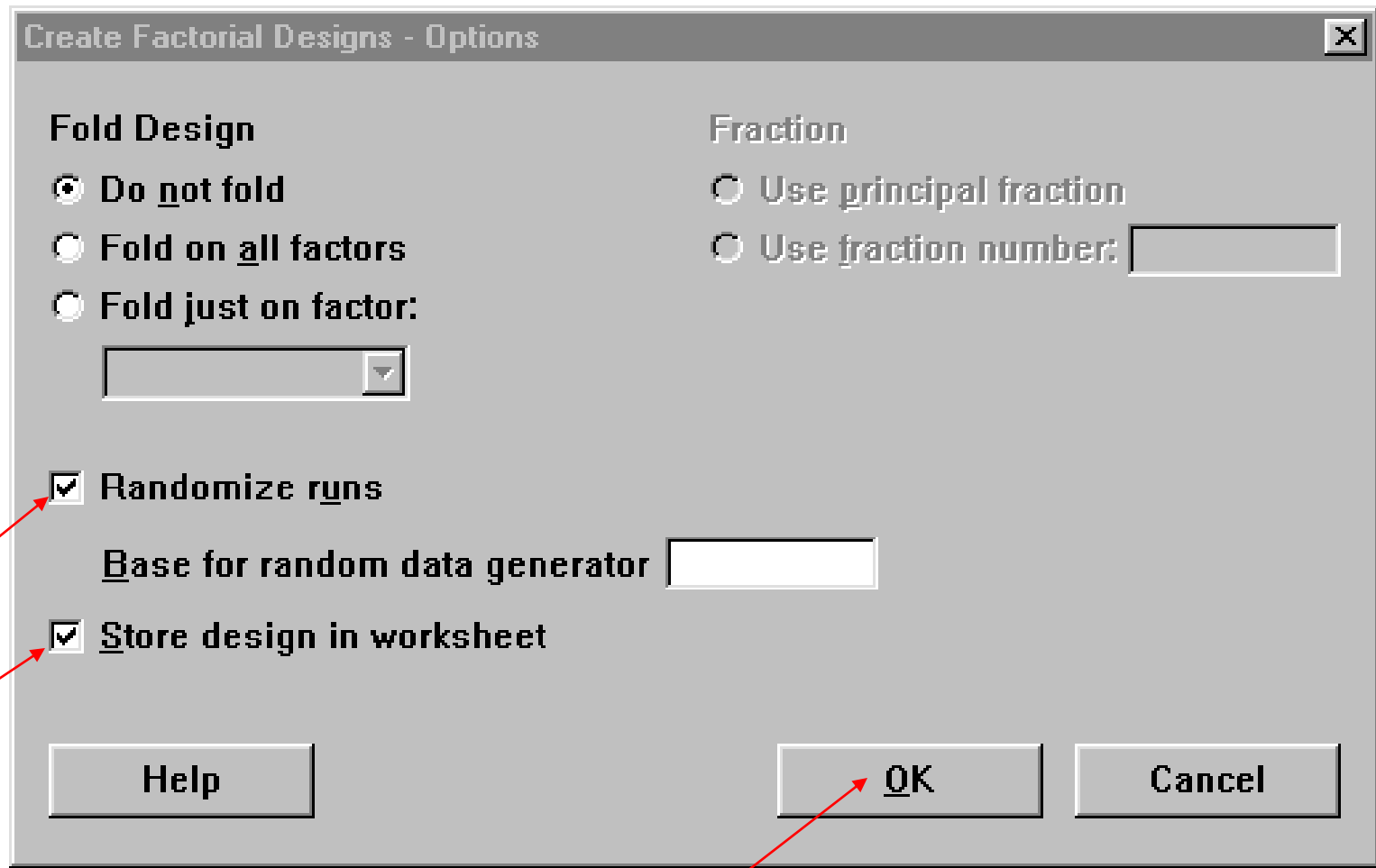








Tlačítko “Options” umožňuje nastavit, aby návrh byl zapsán do „Worksheet“ ve znáhodněném pořadí.



Ve „Worksheet“ se zobrazí požadovaný návrh.

↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Prodejce	Velikost	Teplo
1	1	1	1	1	Novak	No1	Ne
2	12	2	1	1	Akim	No2	Ne
3	5	3	1	1	Novak	No1	Ano
4	14	4	1	1	Akim	No1	Ano
5	4	5	1	1	Akim	No2	Ne
6	16	6	1	1	Akim	No2	Ano
7	7	7	1	1	Novak	No2	Ano
8	9	8	1	1	Novak	No1	Ne
9	2	9	1	1	Akim	No1	Ne
10	8	10	1	1	Akim	No2	Ano
11	10	11	1	1	Akim	No1	Ne
12	11	12	1	1	Novak	No2	Ne
13	13	13	1	1	Novak	No1	Ano
14	6	14	1	1	Akim	No1	Ano
15	3	15	1	1	Novak	No2	Ne
16	15	16	1	1	Novak	No2	Ano

Do návrhu se zapíše výsledky zkoušek.

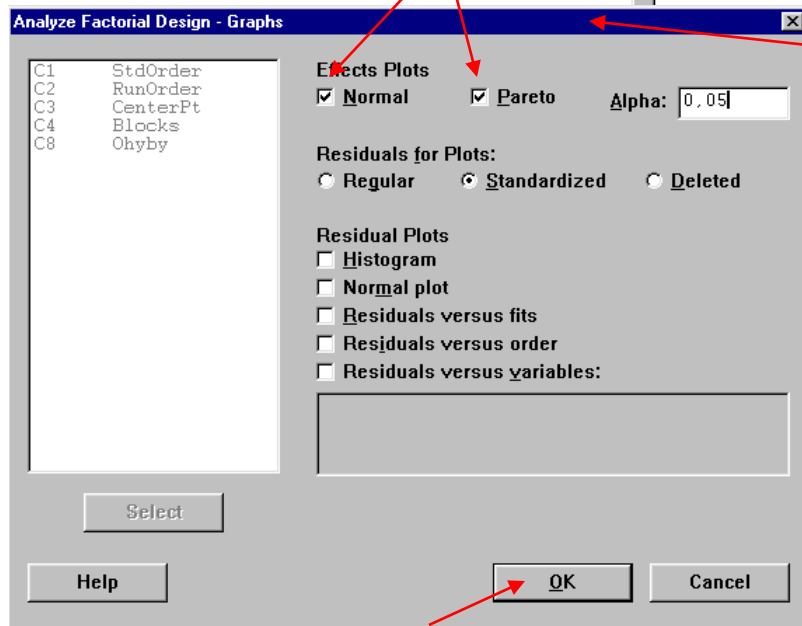
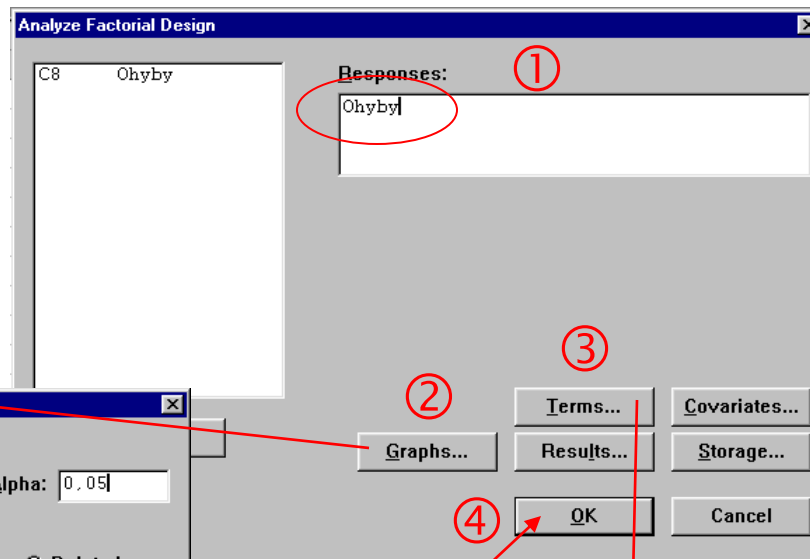
+	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Prodejce	Velikost	Teplo	Ohyby
1	1	1	1	1	Novak	No1	Ne	9
2	12	2	1	1	Akim	No2	Ne	5
3	5	3	1	1	Novak	No1	Ano	21
4	14	4	1	1	Akim	No1	Ano	21
5	4	5	1	1	Akim	No2	Ne	12
6	16	6	1	1	Akim	No2	Ano	18
7	7	7	1	1	Novak	No2	Ano	22
8	9	8	1	1	Novak	No1	Ne	7
9	2	9	1	1	Akim	No1	Ne	21
10	8	10	1	1	Akim	No2	Ano	18
11	10	11	1	1	Akim	No1	Ne	10
12	11	12	1	1	Novak	No2	Ne	13
13	13	13	1	1	Novak	No1	Ano	15
14	6	14	1	1	Akim	No1	Ano	17
15	3	15	1	1	Novak	No2	Ne	16
16	15	16	1	1	Novak	No2	Ano	26
17								

Práce s Minitabem : Vyhodnocení experimentu

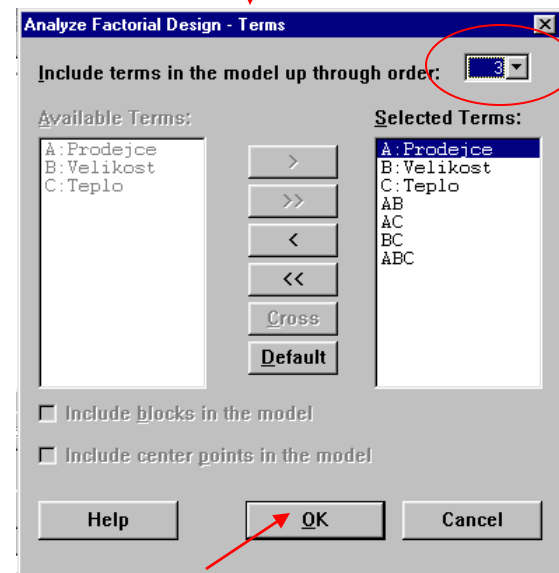
Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design

The screenshot shows the Minitab software interface. The menu path is: Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design. Red arrows point from the top-left corner to the 'Stat' menu, then to 'DOE', then to 'Factorial', and finally to 'Analyze Factorial Design...'. The background shows a data table with columns for factors and responses.

6	1	1	Akim	No2	Ano	18	
7	1	1	Novak	No2	Ann	22	

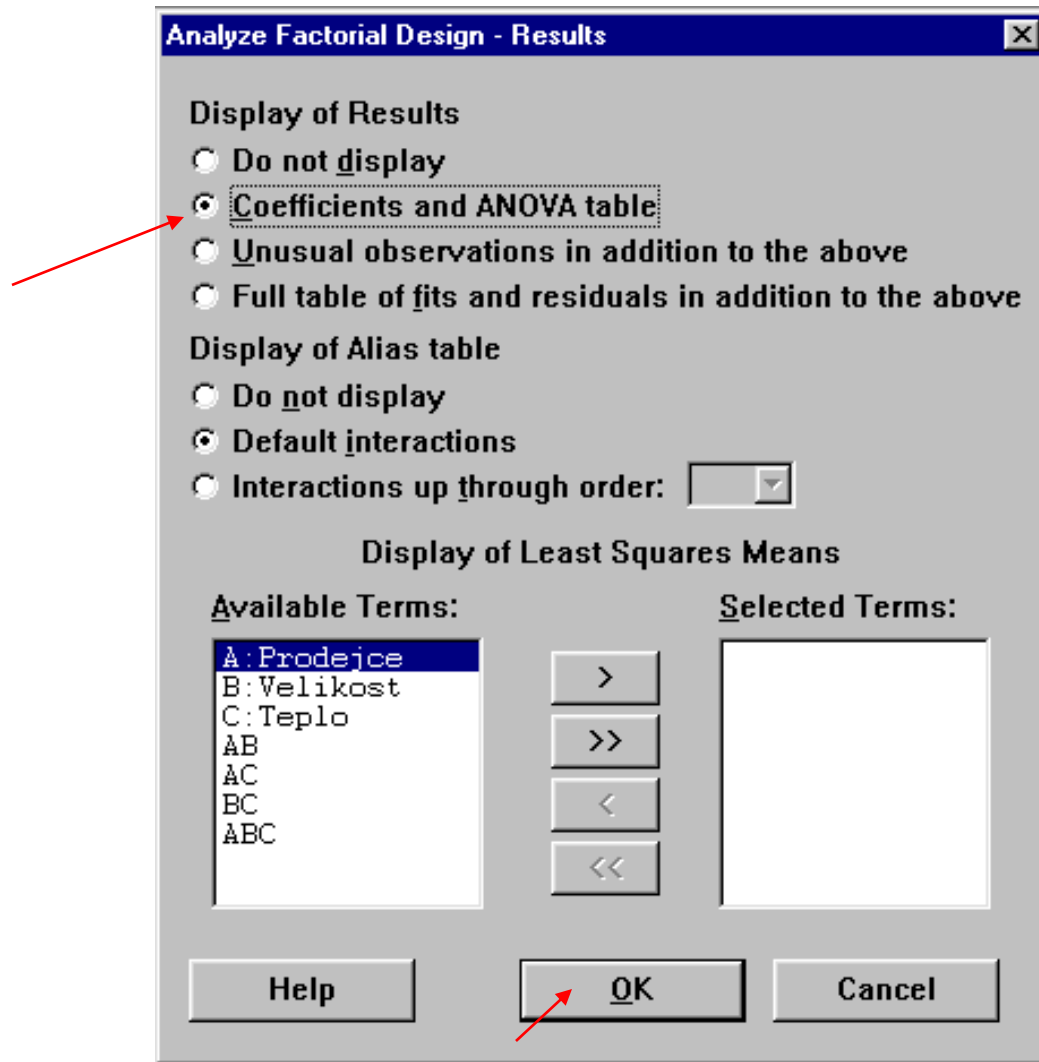


V okně Graphs vybereme
“Normal” a “Pareto” a “OK”.



V okně Terms vobereme
“3” a “OK”.

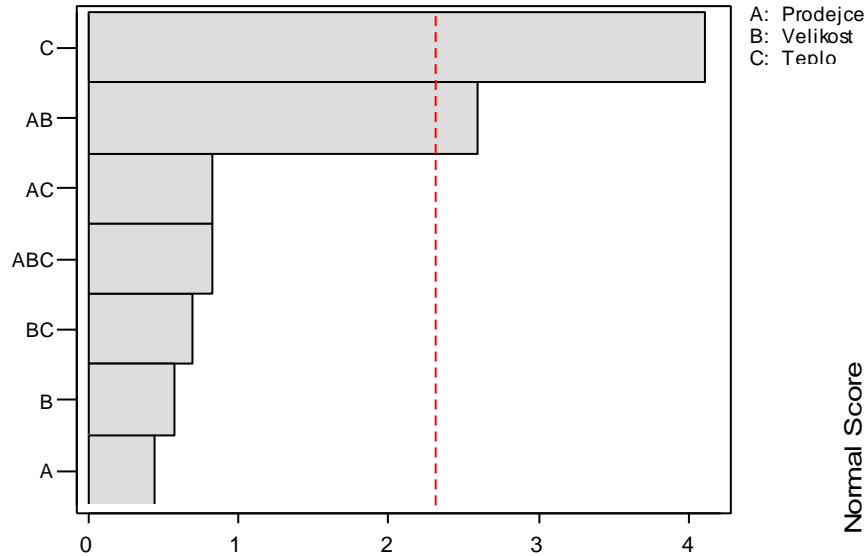
Tlačítko “Results” umožňuje vybrat v jakém rozsahu chceme zobrazit výsledky.



Grafický výstup

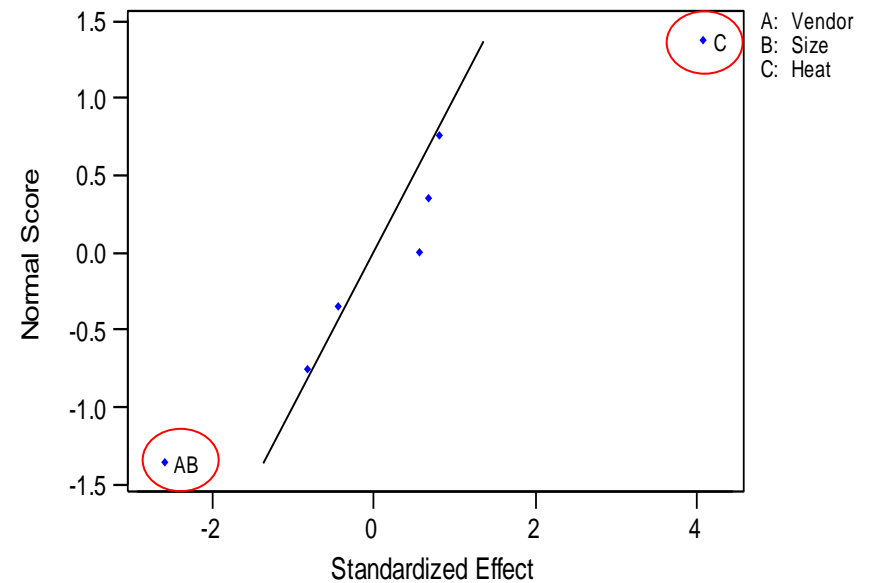
Pareto Chart of the Standardized Effects

(response is Ohyby, Alpha = .05)



Normal Probability Plot of the Standardized Effects

(response is Bends, Alpha = .05)



Paretův graf a graf normálního rozdělení taky znázorňují, že “Teplo” a interakce mezi “Teplo” & “Prodejce” jsou statisticky významné.

Výstup na stránce „Session“

Fractional Factorial Fit: Ohyby versus Prodejce; Velikost; Teplo

Estimated Effects and Coefficients for Ohyby (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15,688	0,9902	15,84		0,000
Prodejce	-0,875	-0,437	0,9902	-0,44	0,670
Velikost	1,125	0,563	0,9902	0,57	0,586
Teplo	8,125	4,063	0,9902	4,10	0,003
Prodejce*Velikost	-5,125	-2,563	0,9902	-2,59	0,032
Prodejce*Teplo	-1,625	-0,812	0,9902	-0,82	0,436
Velikost*Teplo	1,375	0,687	0,9902	0,69	0,507
Prodejce*Velikost*Teplo	1,625	0,812	0,9902	0,82	0,436

Faktor “Teplo” (p-hodnota = 0.003) má významný vliv a významná je i interakce mezi “Prodejce” & “Veliko”st” (p-hodnota = 0.032).

Výstup na stránce „Session“ , pokr.

Analysis of Variance for Ohyby (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	272,188	272,188	90,73	5,78	0,021
2-Way Interactions	3	123,188	123,187	41,06	2,62	0,123
3-Way Interactions	1	10,562	10,562	10,56	0,67	0,436
Residual Error	8	125,500	125,500	15,69		
Pure Error	8	125,500	125,500	15,69		
Total	15	531,438				

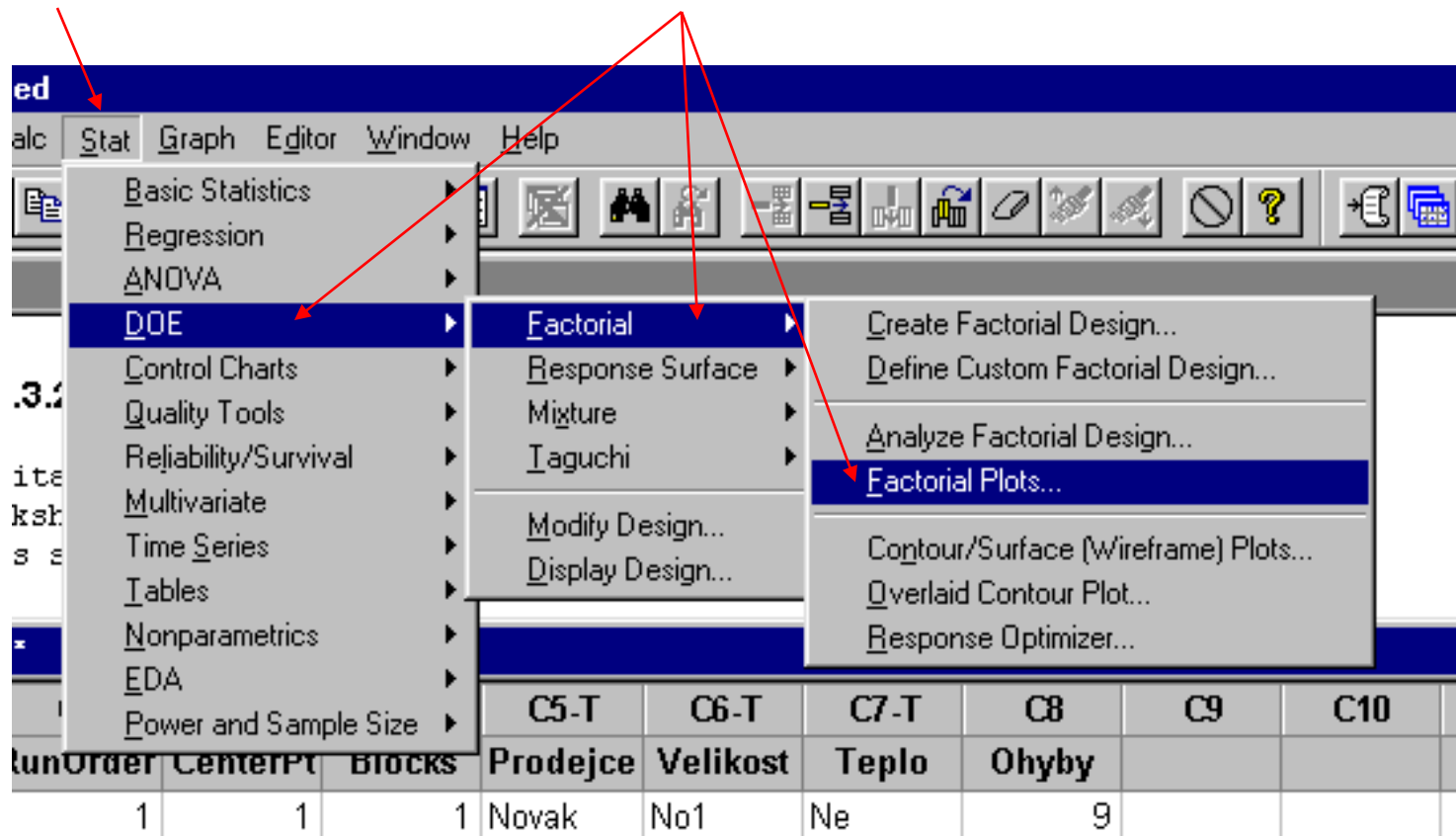
Výstup na stránce „Session“ , pokr.

Estimated Coefficients for Ohyby using data in uncoded units

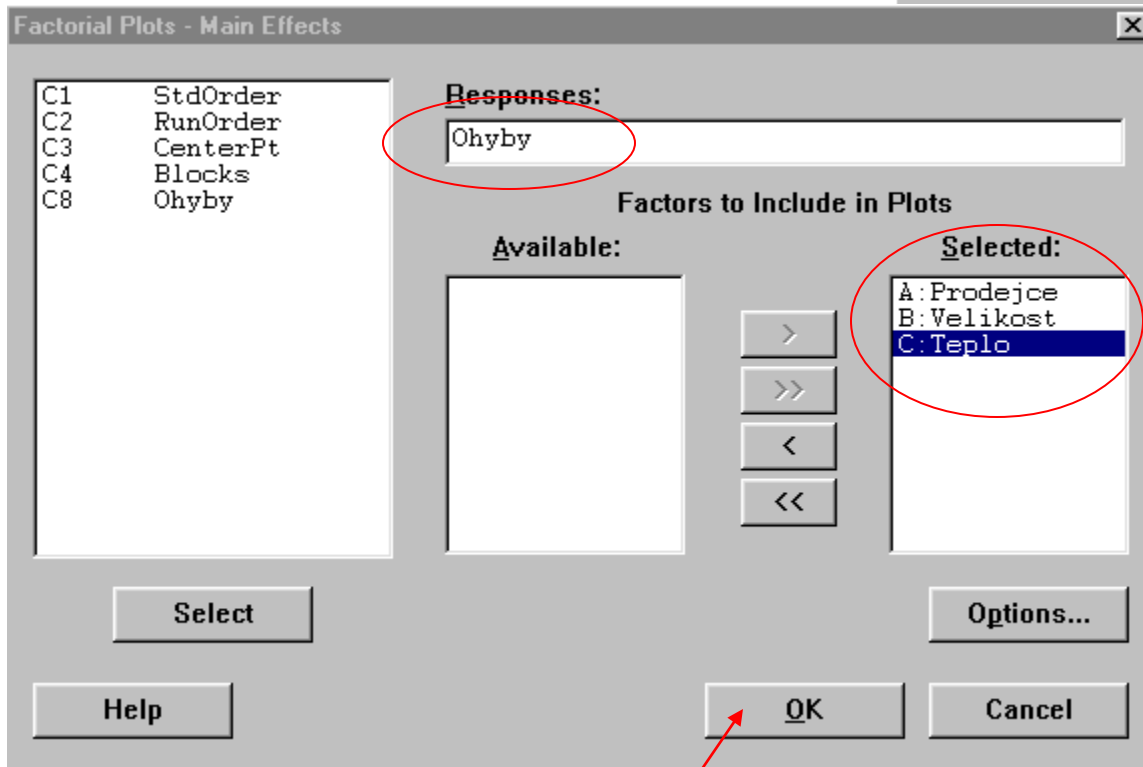
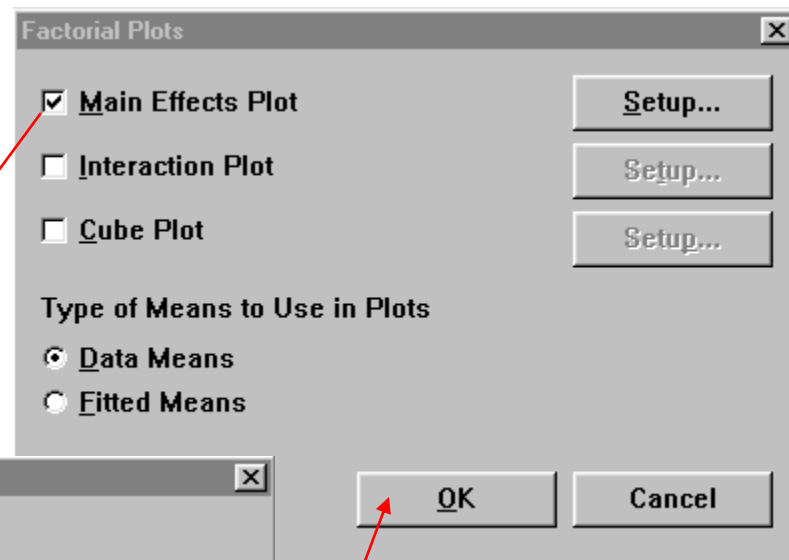
Term	Coef
Constant	15,6875
Prodejce	-0,437500
Velikost	0,562500
Teplo	4,06250
Prodejce*Velikost	-2,56250
Prodejce*Teplo	-0,812500
Velikost*Teplo	0,687500
Prodejce*Velikost*Teplo	0,812500

Práce s Minitabem : Zobrazení efektů

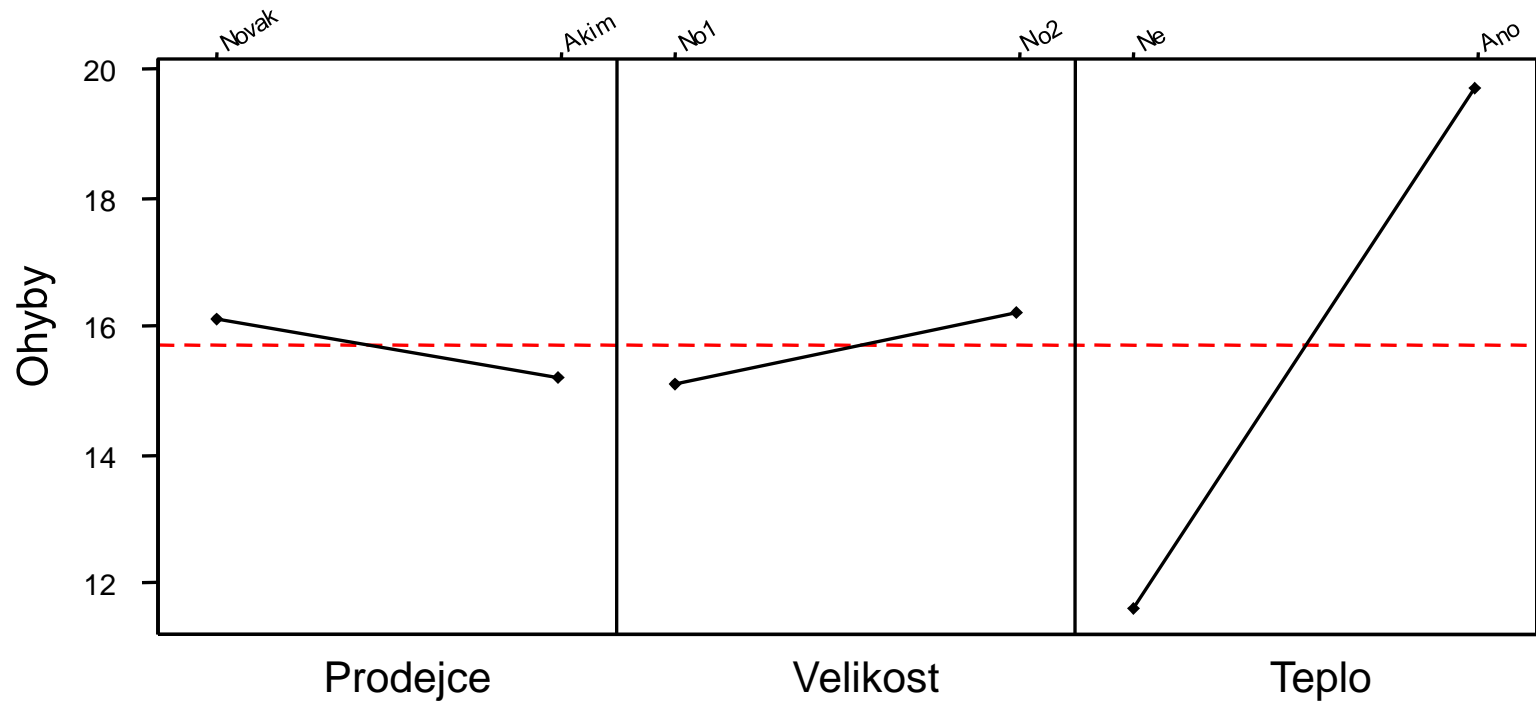
Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots



V okně Main Effects Plot vyberme
“Prodejce”, “Velikost”, a “Teplo”.
Do okna “Response” vložíme
“Ohyby” ; “OK”.

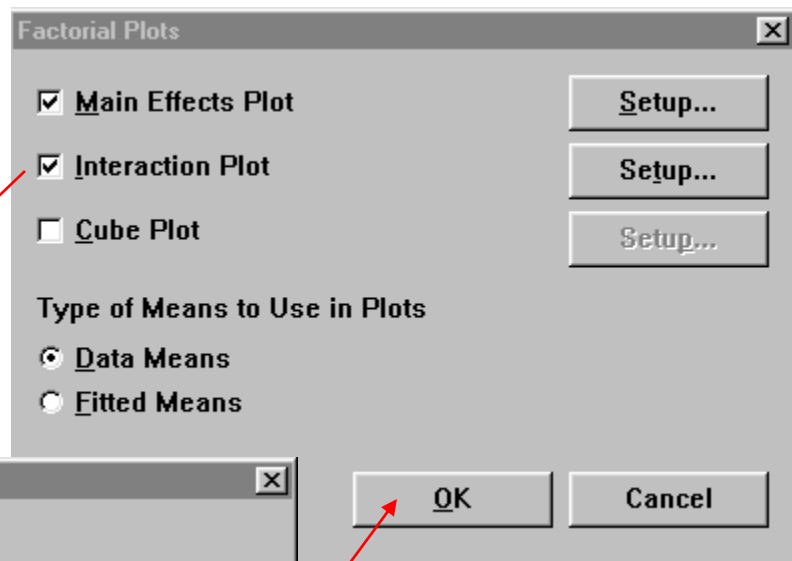
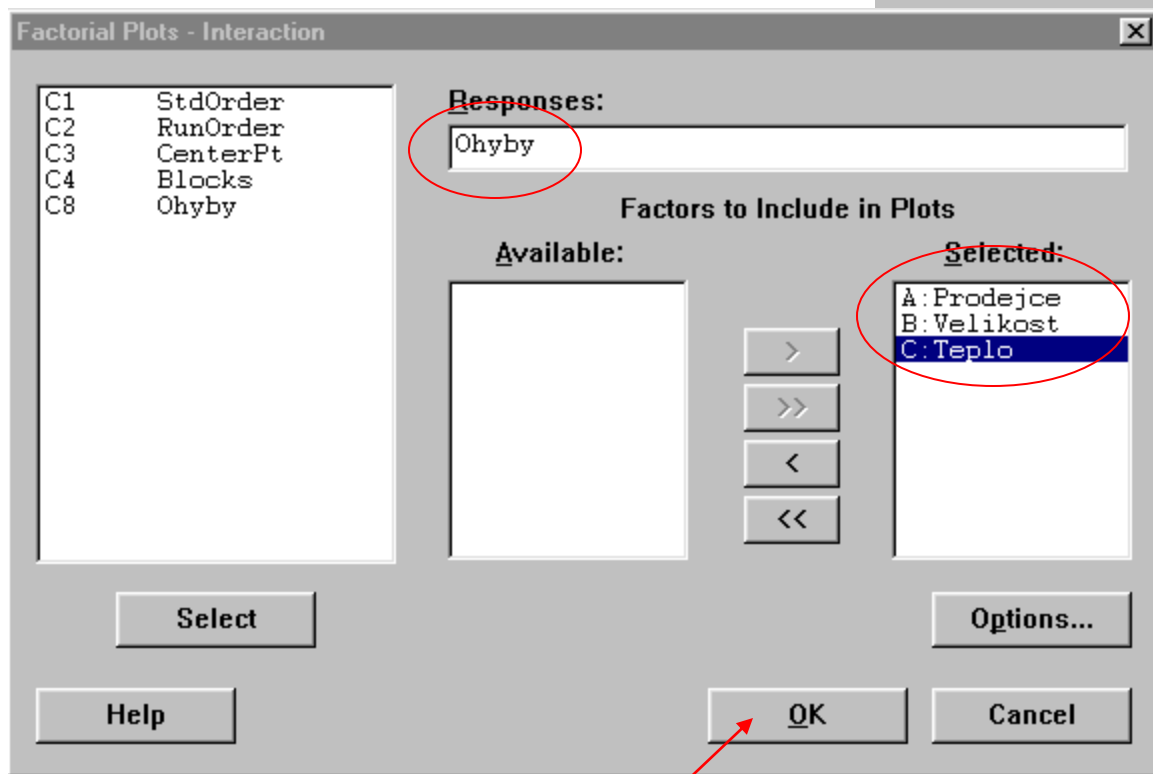


Main Effects Plot (data means) for Ohyby

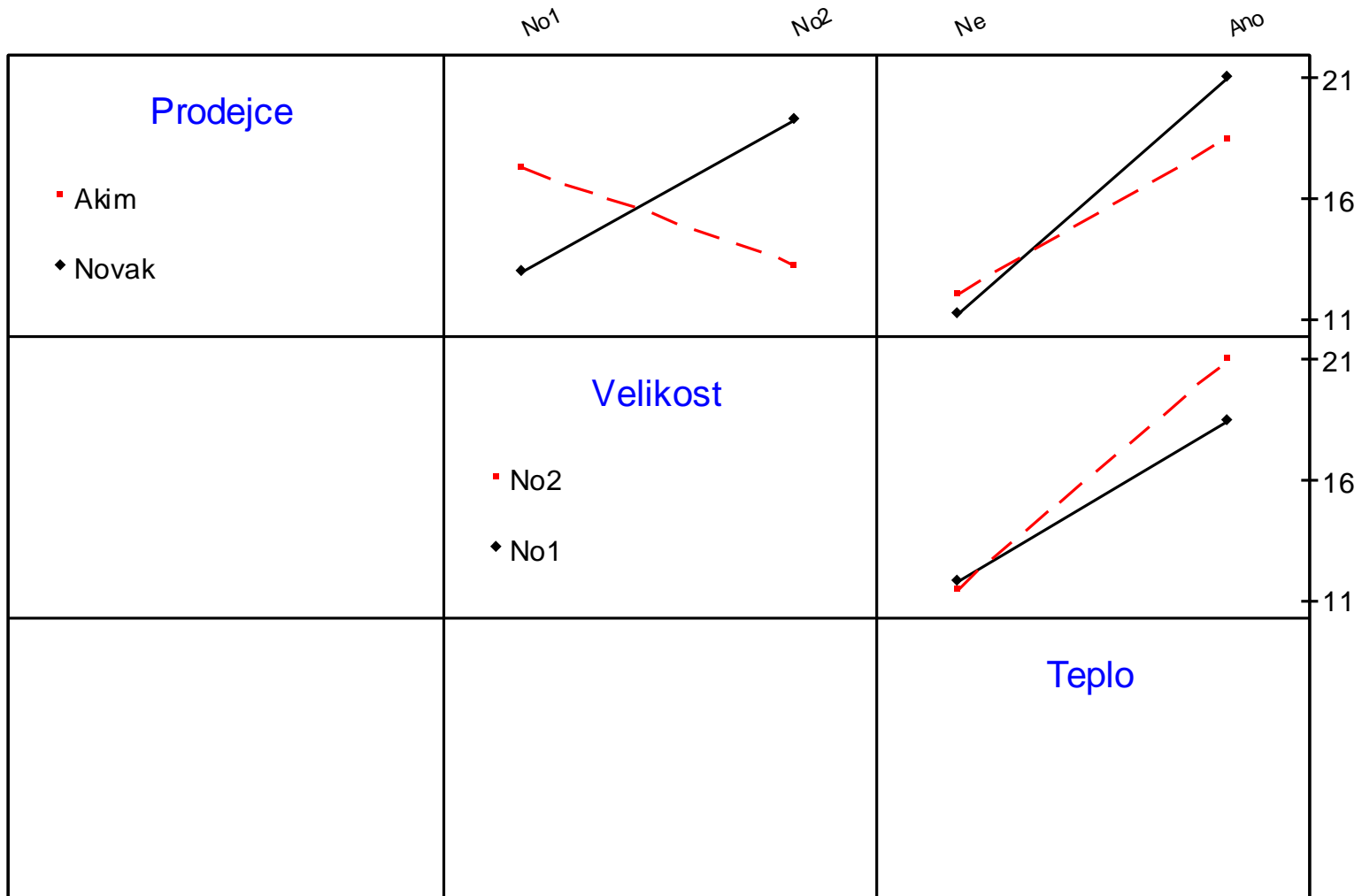


V Main Effects Plot vidíme, že efekt faktoru “Teplo” je mnohem vyšší než efekty jiných faktorů.

V okně Interaction Plot vyberme
“Prodejce”, “Velikost”, a “Tepló”.
Do okna “Response” vložíme
“Ohyby”; “OK”.



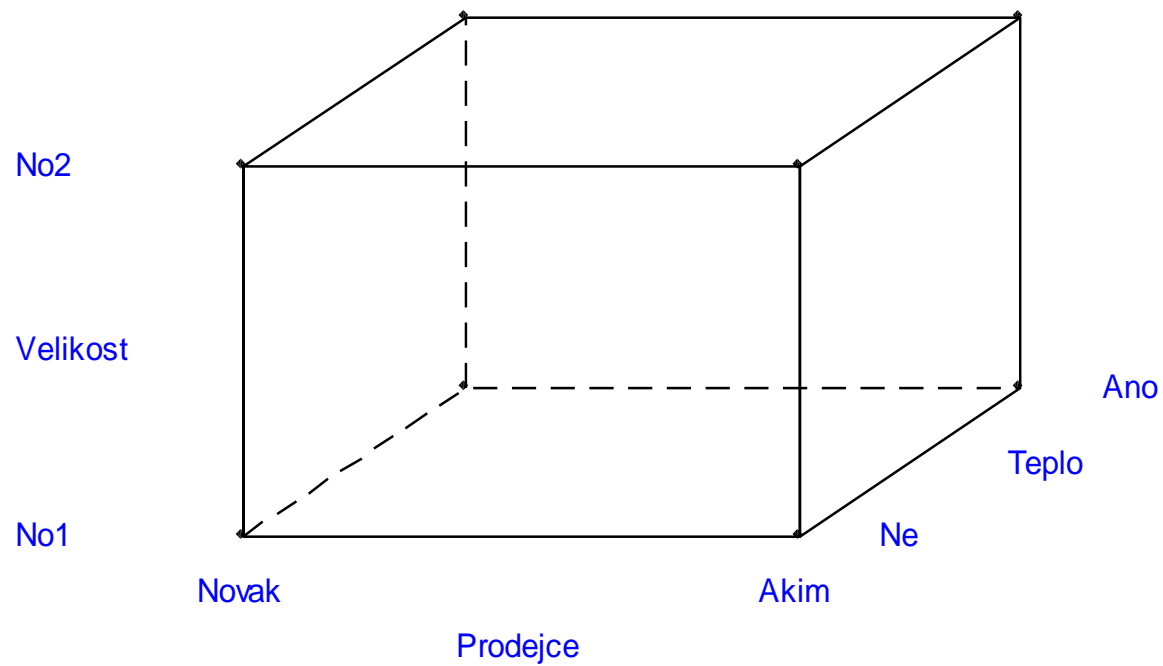
Interaction Plot (data means) for Ohyby



V Interaction Plot vidíme, že interakce mezi “Prodejce” a “Velikost” je mnohem větší než jiné interakce.

Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots > Cube Plot - znázorní návrh experimentu pomocí krychle.

Factorial Design



Práce s Minitabem: DOE

Závěry z grafu hlavních efektů

Faktor teploty (ohřevu) má největší efekt na trvanlivost (počet ohybů).

- Velký kladný sklon (z levého dolního k pravému hornímu rohu).
- Významná P-hodnota.
- Sponky tepelně ošetřené plní funkci lépe (asi 30 ohybů).

Hlavní faktorové efekty na ohyb, jak pro faktor - prodejce, tak pro faktor - velikost jsou malé (nevelký sklon).

- Jejich p-hodnoty jsou nevýznamné (nerozzeznatelné od náhodných vlivů – efekty jsou blízké celkovému průměru kolem 16 ohybů)
- Prodejce: Průměr prodejce Novak není moc odlišný od průměru prodejce Akim
- Velikost: Průměr pro velikost No.1 není moc odlišný od průměru velikosti No.2.

Doporučení

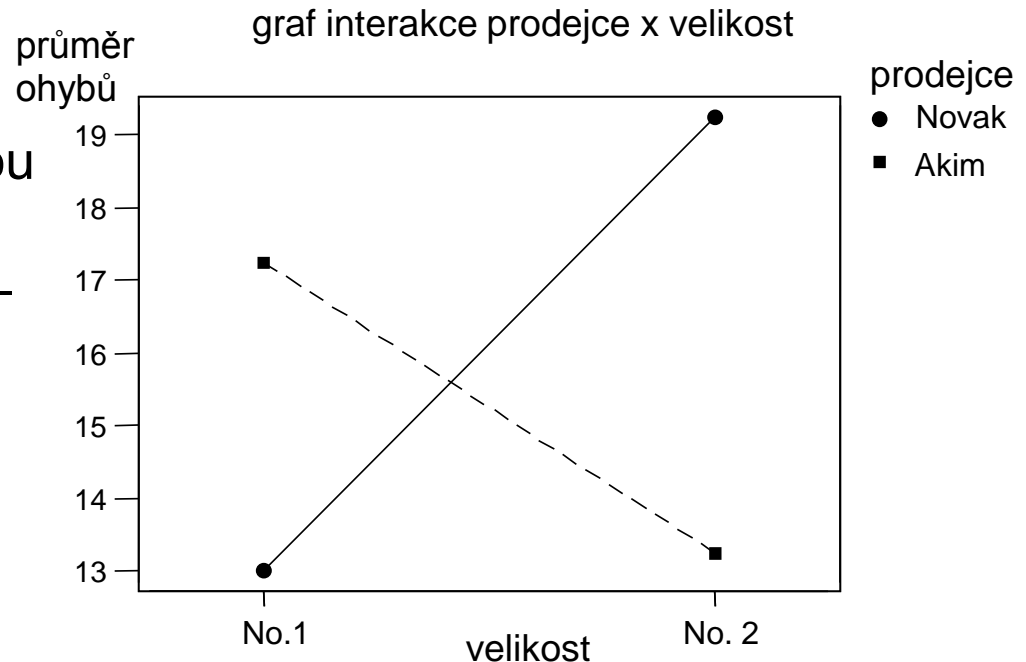
V zásadě žádat tepelně zpracované sponky.

Práce s Minitabem: DOE

Závěry z grafů pro interakce

Pouze jedna interakce je významná, a to prodejce x velikost. Zde jsou sklony velice rozdílné (a v tomto případě se skutečně protínají).

Další interakce jsou nevýznamné. Přímký nejsou přesně rovnoběžné, ale sklony jsou málo odlišné — je to nerozeznatelné od náhodných vlivů.



Doporučení

Používají-li se sponky No.2, pak lepší prodejce je Novak (trvanlivost asi 19 ohybů). Pro sponku No.1 je lepší prodejce Akim (asi 17 ohybů).

Práce s Minitabem: DOE

Doporučení

V zásadě budeme žádat tepelně ošetřené sponky.

Chceme-li používat obou velikostí a mít dva prodejce:

- Nakupovat tepelně ošetřené sponky No. 1 u Akima.
- Nakupovat tepelně ošetřené sponky No. 2 od Novaka.

Chceme-li obě velikosti, ale pouze jednoho prodejce, pak si vybereme tepelně ošetřené sponky od prodejce Novak.

Krok 8: Vyvození závěrů

Na konci analýzy:

- ❖ Sestavit přehled všech závěrů.
- ❖ Interpretovat smysl těchto výsledků,
 - například, srovnat je se známými fyzikálními vlastnostmi.
- ❖ Formulovat doporučení.
- ❖ Formulovat a zapsat závěry jednoduchým jazykem.

Krok 9: Ověřit výsledky

Existují dva klíčové způsoby, jak ověřit závěry vyvozené z experimentu:

Potvrzující měření – provedeme několik dodatečných experimentů při doporučených nastaveních, abychom poznali, zda je dosaženo očekávané odezvy.

Provedeme konkrétně doporučené změny v procesu – změníme proces a sledujeme jej na regulačním diagramu, abychom se ujistili, že se změn dosáhlo a že je udržována očekávaná hodnota odezvy.

V experimentu jsme se rozhodli, že příště budeme ku tepelně ošetřené sponky. Budeme pokračovat ve sledování odebíraných sponek, abychom se ujistili, že dosahujeme predikovaného zvýšení v trvanlivosti. (17 ohybů v průměru pro Akima velikosti No. 1 a 23 ohybů pro Novaka velikost No. 2.)

INSTRUCTOR NOTES:
Introduce and discuss
Step 9.

Rekapitulace: Postup DOE v Minitabu

NÁVRH EXPERIMENTU

Krok

Příkazy MINITAB

1) Identifikovat odezvu

2) Identifikovat faktory

3) Vybrat návrh

Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design...

Type of design: 2 level factorial (default generators)

Number of factors:

Designs:

Full or fractional

Number of replicates

4) Vybrat úrovně faktorů

Factors

Names

Low level

High level

5) Známhodnit pořadí pokusů

(Minitab will randomize by default)

6) Provést experiment a sebrat data

Type data into Minitab's worksheet

ANALÝZA EXPERIMENTU

Krok

Příkazy MINITAB

7) Analyzovat data

a) Prohlédnout data a model

Stat > DOE > Analyze Factorial Design

Select response(s) (Ys)

Graphs

Residuals plots—standardized

Normal plot

Residuals vs. fits

Residuals vs. order

b) Identifikovat největší efekty

Effects plots

Normal

Pareto

Alpha = .05

Look for small p-values < .05 for effects on the output

- c) Posoudit vliv efektů na
responsi (odezvu)
- Pochopit vliv hlavních
efektů na odezvu
 - Klíčové interakce
 - Stanovit způsob zlepšení

Stat > DOE > Factorial Plots

- Main effects
Setup—select response and
factors of interest
- Interaction
Setup—select response and
factors of interest
- Cube
Setup—select response and
factors of interest

8) Napsat závěr

Use the coefficients (from the output)
to write an equation quantifying the relationship
between Y and the factors, if desired, to predict
future output for various combinations

9) Ověřit výsledky

Rovnice pro predikci

Můžeme použít koeficienty faktorů, jež spočítal Minitab, k tomu, aby se napsala rovnice, která:

- kvantifikuje vztah mezi Y a faktory X ;
- může být použita k predikcím při různých kombinacích.

Je to téměř stejná rovnice jako regresní rovnice.

Krok 9: Ověř výsledky

Existují dva klíčové způsoby, j

z experimentu:

Potvrzující měření – provedme několik dodatečných experimentů při doporučených nastaveních, abychom poznali, zda je dosaženo očekávané hodnoty odezvy.

Provedme konkrétně doporučené změny v procesu – změňme proces a sledujme jej pomocí regulačního diagramu, abychom se ujistili, že se změn dosáhlo a je udržována očekávaná hodnota odezvy.

Budeme pokračovat ve sledování dalšího procesu, abychom se ujistili, že dosahujeme predikovaných výsledků.

INSTRUCTOR NOTES:

The 17 and 23 for predicted average can also be compared to the 18 and 24 that result from actual data and can be seen in the cube plot if time permits. Note the importance of p-values in generating the predictive equation.

Note that there may well be significant considerations leading the company to keep two suppliers, multiple sizes, etc.

Rekapitulace: Postup v DOE v Minitabu

- Sestavit plán experimentu postupem: *STAT > DOE > Factorial*
- Pojmenovat srozumitelně názvy
- Přidat bloky, pokud je to nutné
- Provádět experimenty v předepsaném pořadí
- Zapisovat data do stejného pracovního listu
- Použít *Stat > DOE > Factorial*
 - *Analyze tools & Session window*, a
 - *Factorial plots*.

