

# Μάθημα

## Τεχνοοικονομική ανάλυση δικτύων


### Ανάλυση Ευαισθησίας και Ανάλυση Κινδύνων

Δρ. Δημήτρης Κατσιάνης  
Nils Kristian Elnergaard

---

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Τομέας Επικοινωνιών και Επεξεργασίας Σήματος

1



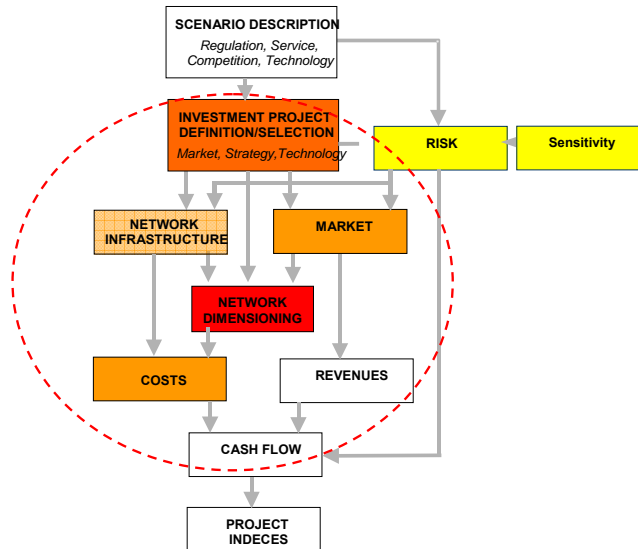
## Περιεχόμενα

- Τι είναι αβεβαιότητα?
- Μοντελοποιώντας την αβεβαιότητα
- Ανάλυση Ευαισθησίας
- Ανάλυση Κινδύνων
- Μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης
  - Monte Carlo στο Crystal Ball
  - Παραδείγματα
- Αξιολόγηση

2

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών Δρ. Δ. Κατσιάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Η ανάλυση κινδύνων στη μοντελοποίηση της ανάλυσης επενδύσεων



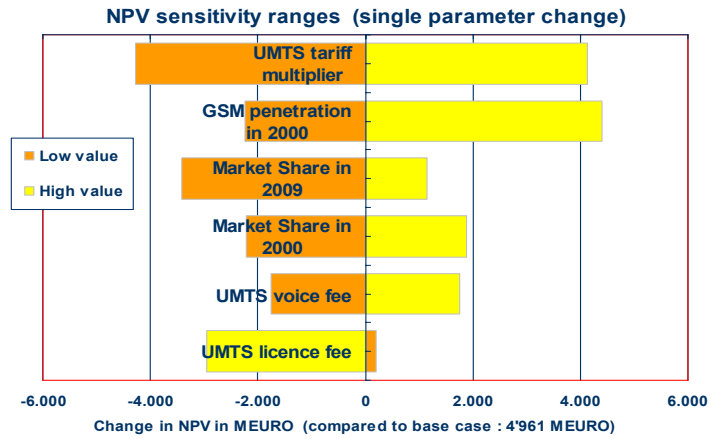
3

## Ανάλυση Ευαισθησίας

- Τι συμβαίνει εάν...;
- Μέθοδος
  - διάλεξε τις πιο κρίσιμες παραμέτρους
  - θέσε όρια για την πιθανή μεταβλητότητα τους (με 95% εμπιστοσύνη)
- Αποτελέσματα
  - επίδραση στην NPV
    - εύρος τιμών της NPV
    - βαθμός ευαισθησίας: πόσο η NPV μεταβάλεται (κλίση από τη βασική τιμή)
  - επίδραση στην IRR
    - εύρος τιμών IRR
    - βαθμός ευαισθησίας: πόσο η IRR μεταβάλεται (κλίση από τη βασική τιμή, όχι πάντα γραμμικό)

4

## Ανάλυση Ευαισθησίας NPV σε σχέση με τη βασική περίπτωση

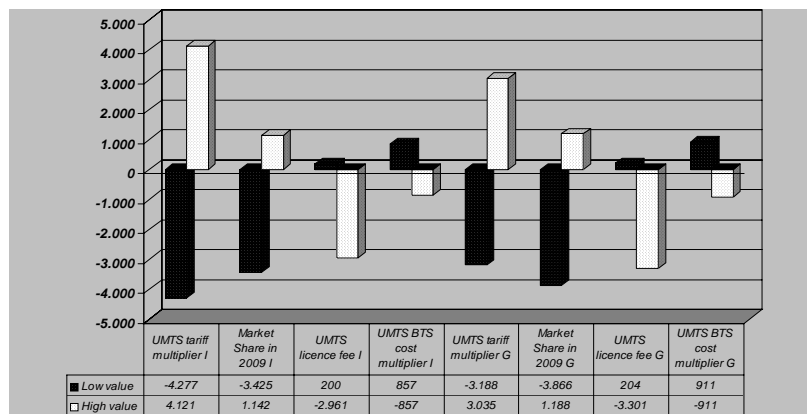


5

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κοτσώνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

## Ανάλυση Ευαισθησίας NPV σε σχέση με τη βασική περίπτωση



6

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κοτσώνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

## Ανάλυση Κινδύνων

- Αβεβαιότητα στις παραμέτρους της αγοράς
  - Μέγεθος αγοράς
  - Μεριδίο αγοράς
  - Χαρακτηριστικά υπηρεσιών
- Αβεβαιότητα στις παραμέτρους κόστους
  - Κόστος αγοράς
  - Εξέλιξη κόστους
  - Εξέλιξη τεχνολογίας
  - Χαρακτηριστικά περιοχής
- Παραγόμενα αποτελέσματα:
- Υπολογισμός της πιθανότητας να έχουμε μειωμένες NPV, IRR κλπ...

7

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεξόδων

## What is uncertainty (modelling)?

- It's Essential to distinguish between variation, "true" uncertainty and decision/strategic variables
- Variation:
  - Variation depends on the details of gathered data e.g. geographic and demographic characteristics, existing market figures, ...
- True uncertainty:
  - Future penetration, market share evolution, cost evolution, technology development, ...
- Decision variables:
  - Variables that are under some control of the company e.g. coverage, timing of investment, service mix and time of launch, pricing variables, ...

8

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεξόδων

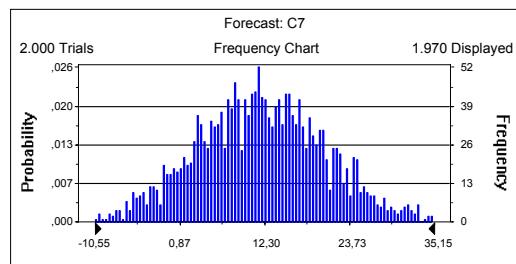
## Modelling uncertainty

- Define probability density functions (pdf) given a set of parameters e.g. expected value, confidence interval, maximum and minimum values
  - Choice of pdf can be difficult to justify when no historical value is available
  - Confidence interval or percentiles are more intuitive metrics than the standard deviation

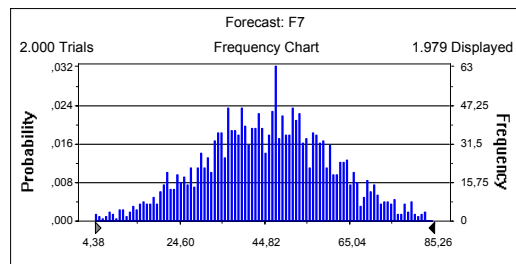
9

## Uncertainty and Risk

- Project A
  - Mean 11,58
  - $\sigma=9,06$



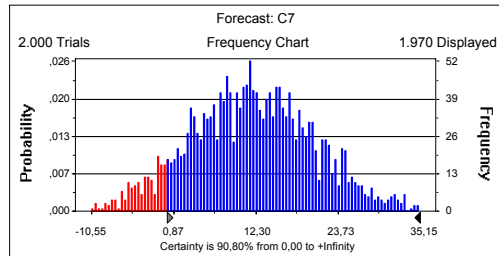
- Project B
  - Mean 45,36
  - $\sigma=15,98$



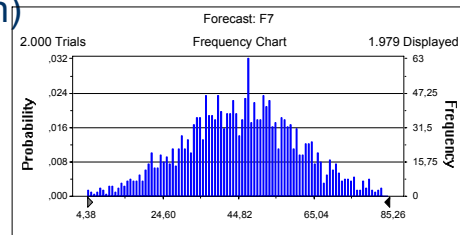
10

## Uncertainty and Risk

- Project A (Risk)
- Mean 11,58
- $\sigma=9,06$
- 9,2% perc $\leq$ 0



- Project B (uncertain)
- Mean 45,36
- $\sigma=15,98$
- 5% perc=22
- 95% perc =75



11

## Possible -> Probable

- What is Possible?
- What is Probable?

12

## Alternative parameter sets

- Mean and standard deviation
- Percentiles
- Mode (most expected value) and lower/higher percentile
- ...

13

## Probability distributions (pdf)

- Continuous distributions:
  - Normal
  - Lognormal
  - Beta
  - Gamma
  - Uniform
  - Exponential
- Discrete distributions
  - Binomial
  - Hypergeometric
  - Poisson
  - Geometric

14

## Beta distribution – characteristics

Definition:

$$p(x) = \frac{1}{B(\mu, \nu)} x^{\mu-1} (1-x)^{\nu-1}, \quad B(\mu, \nu) = \frac{\Gamma(\mu)\Gamma(\nu)}{\Gamma(\mu+\nu)}, \quad x \in [0; 1]$$

Most expected value  
(mode),  $X_M$ :

$$\frac{dp(x)}{dx} = 0 \Rightarrow x = X_M = \frac{\mu-1}{\mu+\nu-1}$$

$$Y_M = (b-a) \frac{\mu-1}{\mu+\nu-1} + a$$

15

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσώνης Τεχνολογική Ανάλυση Διεκδ.

## Calculating parameters of a pdf: Beta

Example – 90% confidence interval defined:

$$\begin{aligned} \int_{X_{\text{conf,L}}}^{X_{\text{conf,H}}} p(x) dx &= \int_0^{X_{\text{conf,H}}} p(x) dx - \int_0^{X_{\text{conf,L}}} p(x) dx \\ &= \tilde{B}(\mu, \nu, X_{\text{conf,H}}) - \tilde{B}(\mu, \nu, X_{\text{conf,L}}) \\ &= \tilde{B}(\mu, g(\mu), X_{\text{conf,H}}) - \tilde{B}(\mu, g(\mu), X_{\text{conf,L}}) = 0.90 \end{aligned}$$

where

$$\nu = g(\mu) = \frac{\mu(1 - X_M) + 2X_M - 1}{X_M} = \frac{\mu(Y_M - a) + 2Y_M - (b + a)}{Y_M - a}$$

$\mu$  and thereby also  $\nu$  are found by using Solver  
Cumulative Beta-distribution is a built-in function in Excel

Ref. Elnegaard N. K., et al. "Analysing the Impact of Forecast Uncertainties in Broadband Access Rollouts by the Use of Risk Analysis" *Elektronikk*(100) no 4, 2004, pp 157-167

16

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσώνης Τεχνολογική Ανάλυση Διεκδ.



## Transformation of a random variable

Given a random variable with mode, minimum, maximum and confidence interval:

$$Y_{\min} < Y_{\text{conf, L}} < Y_M < Y_{\text{conf, H}} < Y_{\max}$$

Find the parameters of the Beta-distributed variable  $X$  :

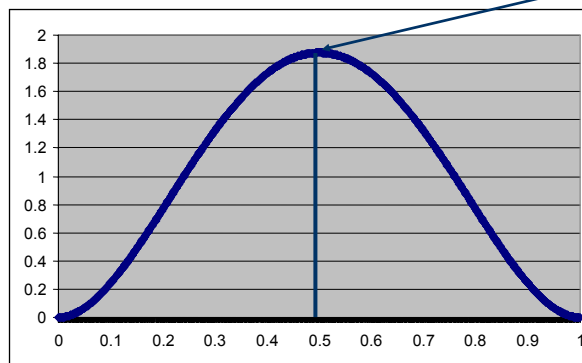
$$Y = (Y_{\max} - Y_{\min})X + Y_{\min} \Leftrightarrow$$

$$X = \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}}$$

17

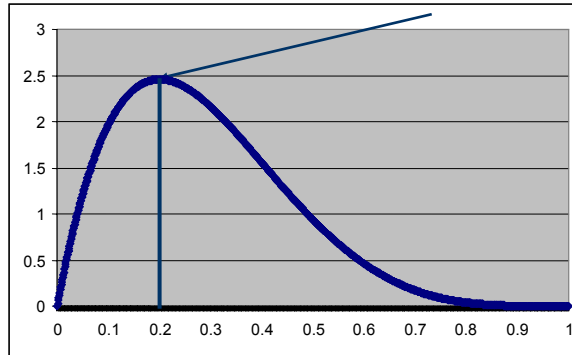
**Beta distribution:  $\mu = 3, \nu = 3$**

$$X_M = 0.5$$



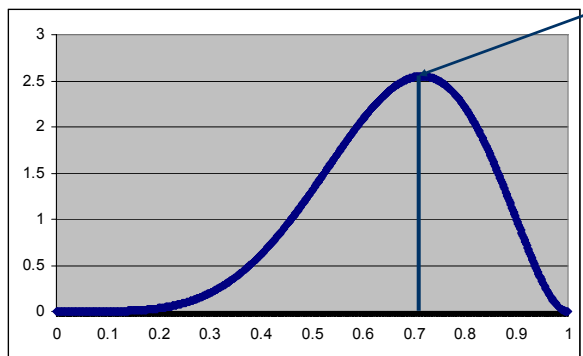
18

Beta distribution:  $\mu = 2, \nu = 5$   
 $X_M = 0.2$



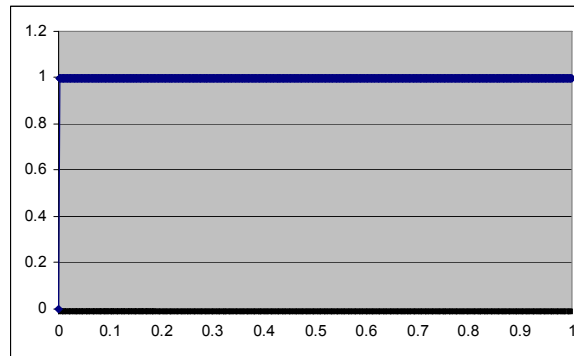
19

Beta distribution:  $\mu = 6, \nu = 3$   
 $X_M = 5/7 \sim 0.714$



20

## Beta distribution: $\mu = 1, \nu = 1$



21

## Lognormal distribution – characteristics

- Definition:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{Log}}x} \exp\left\{-\frac{(\ln(x) - \mu_{\text{Log}})^2}{2\sigma_{\text{Log}}^2}\right\}$$

- Most expected value (mode),  $X_M$  :

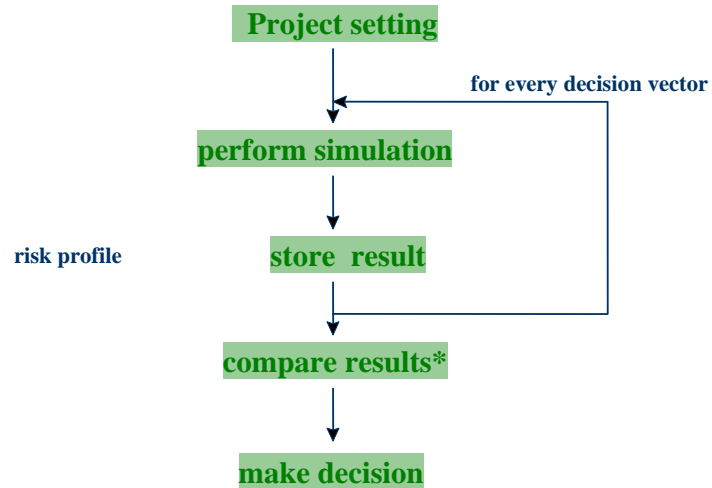
$$\frac{dp(x)}{dx} = 0 \Rightarrow X_M = \exp\{\mu_{\text{Log}} - \sigma_{\text{Log}}^2\}$$

- Mean and variance:

$$\mu = \exp\left\{\mu_{\text{Log}} + \frac{\sigma_{\text{Log}}^2}{2}\right\}, \quad \sigma^2 = \exp\{2\mu_{\text{Log}} + \sigma_{\text{Log}}^2\}[\exp\{\sigma_{\text{Log}}^2\} - 1]$$

22

## Method



23

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεκτίμησης

## Monte Carlo Simulation in Crystal Ball

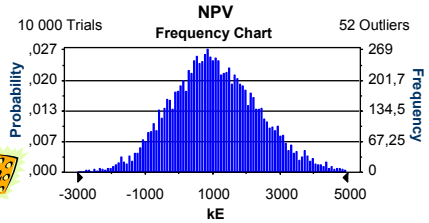
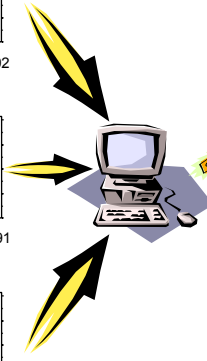
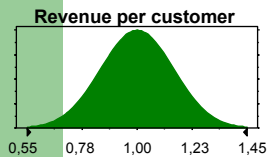
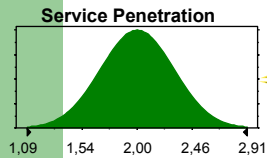
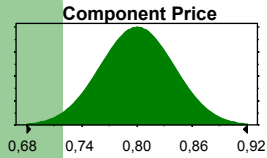
- A number of uncertainty variables are selected and defined by probability distributions
- Forecast functions are defined such as NPV
  - IRR generally not recommended (!)
- A predefined number of runs in the simulation is carried out – in each run a new random number is picked from each distribution
- Complete statistics on forecast functions are generated
- Ranking of uncertainty variables with respect to rank correlation with forecasts

24

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεκτίμησης

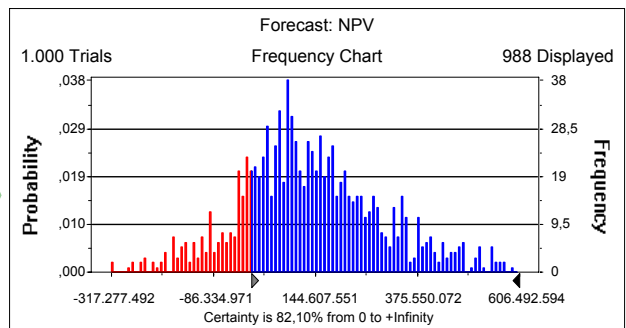
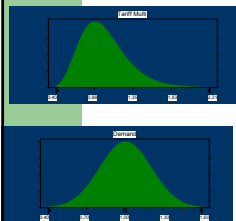
## Risk Analysis



- Statistical Variation of the input parameters
- Using Monte Carlo Simulation
- Results: probability distribution, risk profile of the business case
- Extended basis for investment decisions

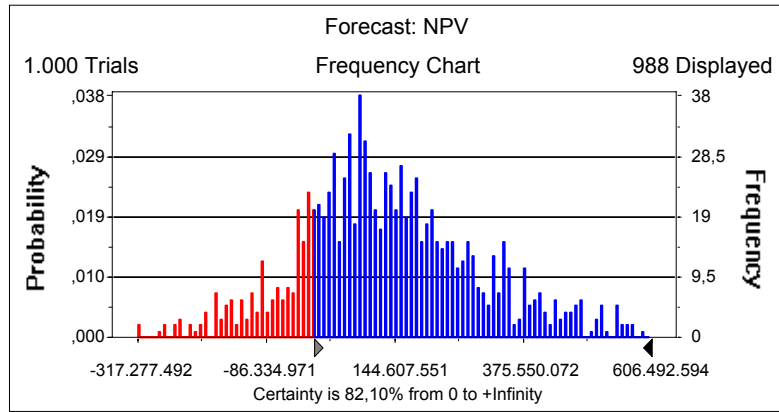
25

## Risk Analysis (probable)



26

# Risk Analysis - NPV



27

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

Microsoft Excel spreadsheet showing uncertainty parameters and a sensitivity chart.

### Uncertainty parameters:

	Minimum	LowConf	Default	HighConf	Maximum	$\alpha$	$\beta$
1. Total broadband penetration, 2006	40 %	45 %	55 %	60 %	65 %	4.49	3.33
2. CATV operator market share, 2006	60 %	65 %	85 %	88 %	90 %	8.35	2.47
3. VDSL share of xDSL, 2006	25 %	45 %	75 %	95 %	100 %	4.28	4.75

### Sensitivity Chart

Target Forecast: NPV

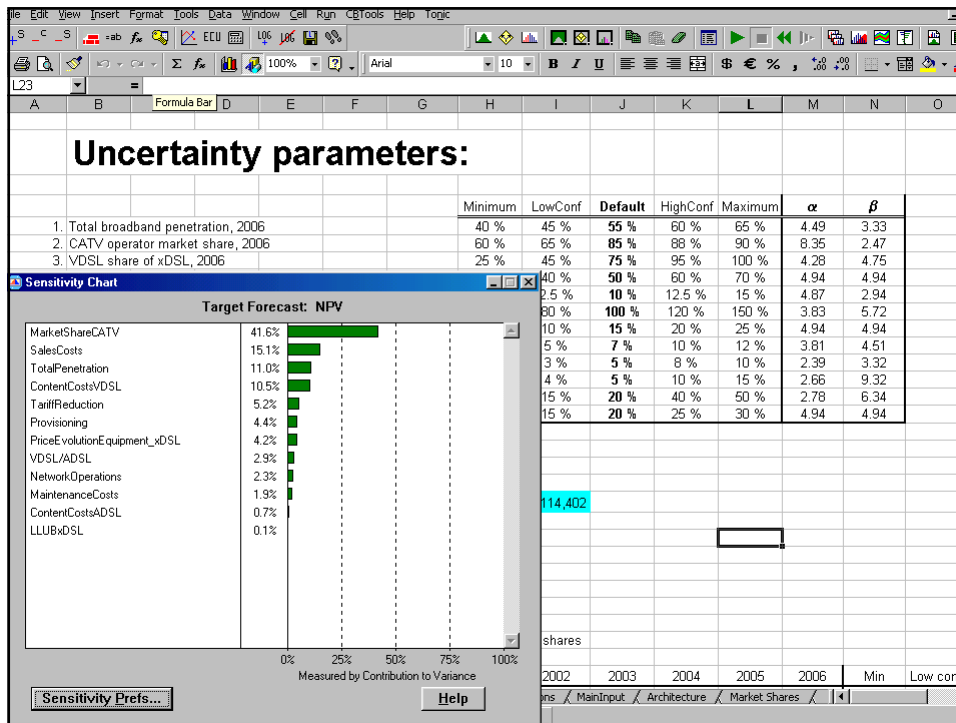
Parameter	Rank Correlation
MarketShareCATV	-.64
SalesCosts	-.39
TotalPenetration	.33
ContentCostsVDSL	-.32
TariffReduction	-.23
Provisioning	-.21
PriceEvolutionEquipment_xDSL	-.20
VDSL/ADSL	.17
NetworkOperations	-.15
MaintenanceCosts	-.14
ContentCostsADSL	-.09
LLUBxDSL	.03

	Minimum	LowConf	Default	HighConf	Maximum
NPV	114,402				

Year	2002	2003	2004	2005	2006	Min	Low conf.
shares							



## Penetration-Forecast

Example – asymmetric S-curve:

$$S(t) = \frac{M}{(1 + \exp(\alpha + \beta t))^\gamma}$$

Given: penetration at  $T_1$  and  $T_2$ ,  $M$  and  $\gamma$ . Find  $\beta$  and  $\alpha$

Ex.: uncertainty defined as the uncertainty in  $S(T_2)$

$$\beta = \frac{1}{T_2 - T_1} \ln \left[ \frac{\left( \frac{M}{S(T_2)} \right)^\gamma - 1}{\left( \frac{M}{S(T_1)} \right)^\gamma - 1} \right]$$

## Evaluation of the MC methodology -1

- +
  - Low-cost and easy-to-use commercial software e.g. Crystal Ball®
  - All well-known as well as customized probability distributions for modelling uncertainty variables available in the menu
  - Some software packages distinguish between uncertainty variables and decision variables e.g. Crystal Ball®
  - Automised sensitivity analysis of many variables which change simultaneously
  - Correlation can be taken into account
  - Probability of events can be measured as e.g.  $P(NPV > 0)$

31

## Evaluation of the MC methodology - 2

- - In practical life, suitable distributions may be very difficult to justify – particularly if no historical data is available
  - Flexibility is not catered for as in option pricing and decision tree methodologies
  - Correlations between variables difficult to justify
  - Should be used with care: too many variables increases calculation time and the model may become too complex to understand and explain

32



## Literature Reviews

- Broadband Access Networks Introduction strategies and techno-economic evaluation Edited by L.A. IMS Published within the Telecommunications Technology And Applications Series by Chapman & Hall 1998 ISBN 0 412 82820 0
- <http://www.decisioneering.com>
- <http://www.portfolioriskanalysis.com/>
- Elnegaard N. K., et al. "Analysing the Impact of Forecast Uncertainties in Broadband Access Rollouts by the Use of Risk Analysis" *Teletronikk(100) no 4, 2004, pp 157-167*