



Modellezés, predikció és szimuláció a termelés optimalizálásban

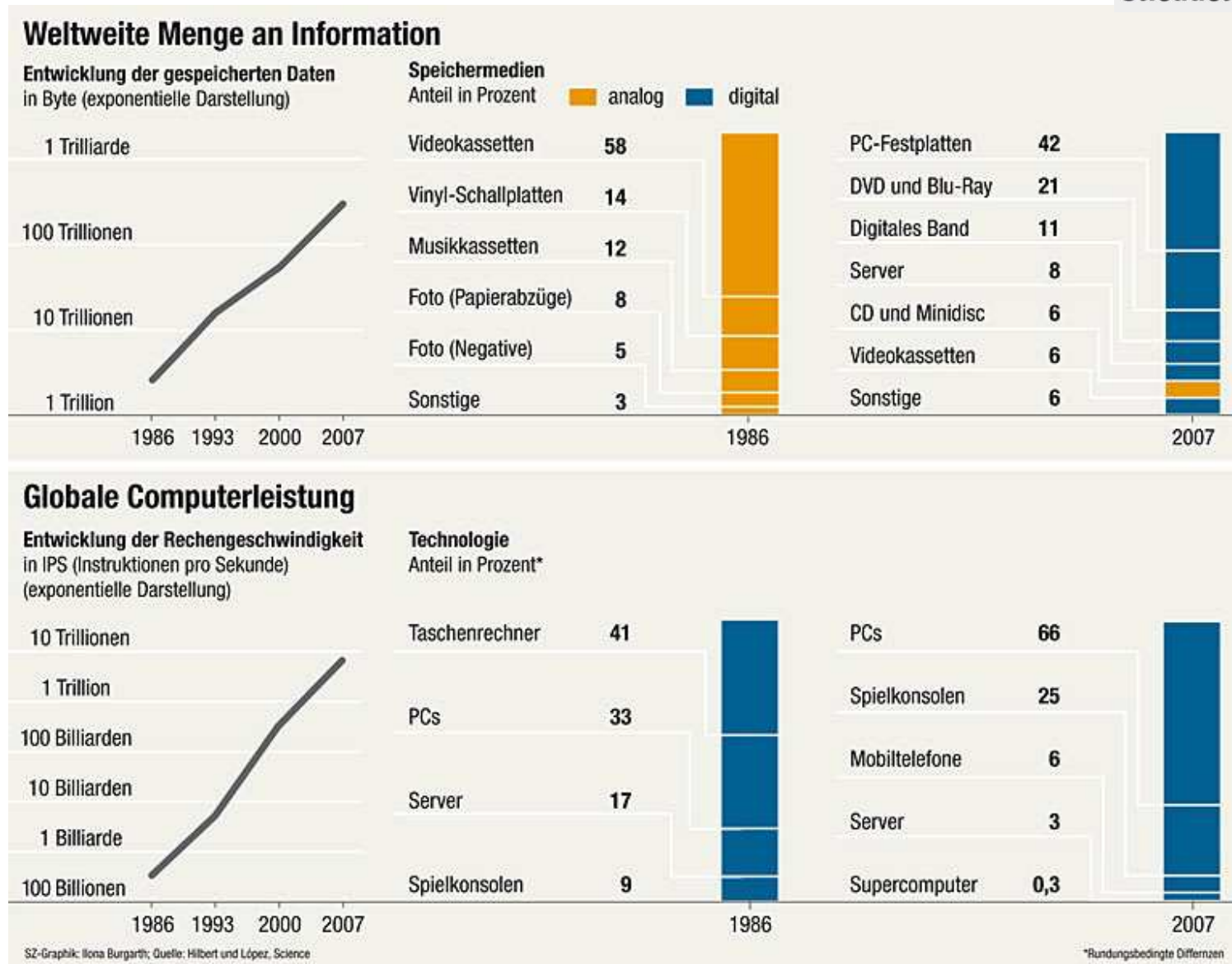
Dr. Pataricza András, dr. Horváth Gábor, dr. Pataki Béla,
Gáti Kristóf, Szombath István, Horváth Ákos (BME MIT)
dr. Csertán György, Gönczy László, Varró-Gyapay Szilvia (Optxware Kft)
Matisa Zoltán, Gregus Gábor, Tóth Ferenc, Veres Iván, Fajkusz Ferenc
és sokan mások (IBM DSS)



Méréstechnika és
Információs Rendszerek
Tanszék



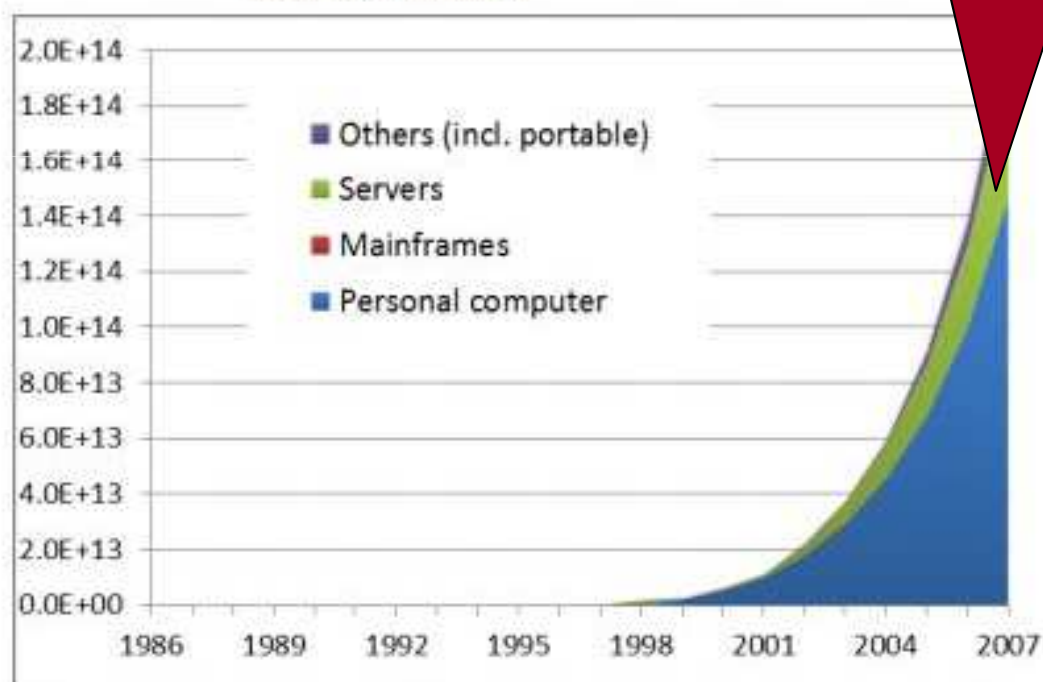
Háttér: az információs robbanás



A tárolókapacitás fejlődése exponenciális

Cloud, stb. várhatóan növeli az arányát

Fig. S C-11: Storage capacity provided by hard disks, in [MB], without normalizing by computer (capacity hardware).



Source: Author's own elaboration, based on various

Scienceexpress

Research Article

The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information

Martin Hilbert^{1*} and Priscila López²

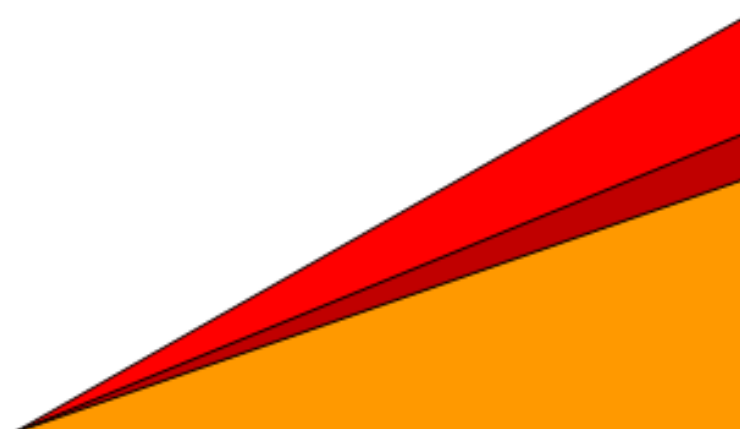
A rendelések negyedév végére összpontosulnak,
a termelésnek egyenletesnek kellene lennie

A TÁROLÓ IS SZEZONÁLIS TERMÉK

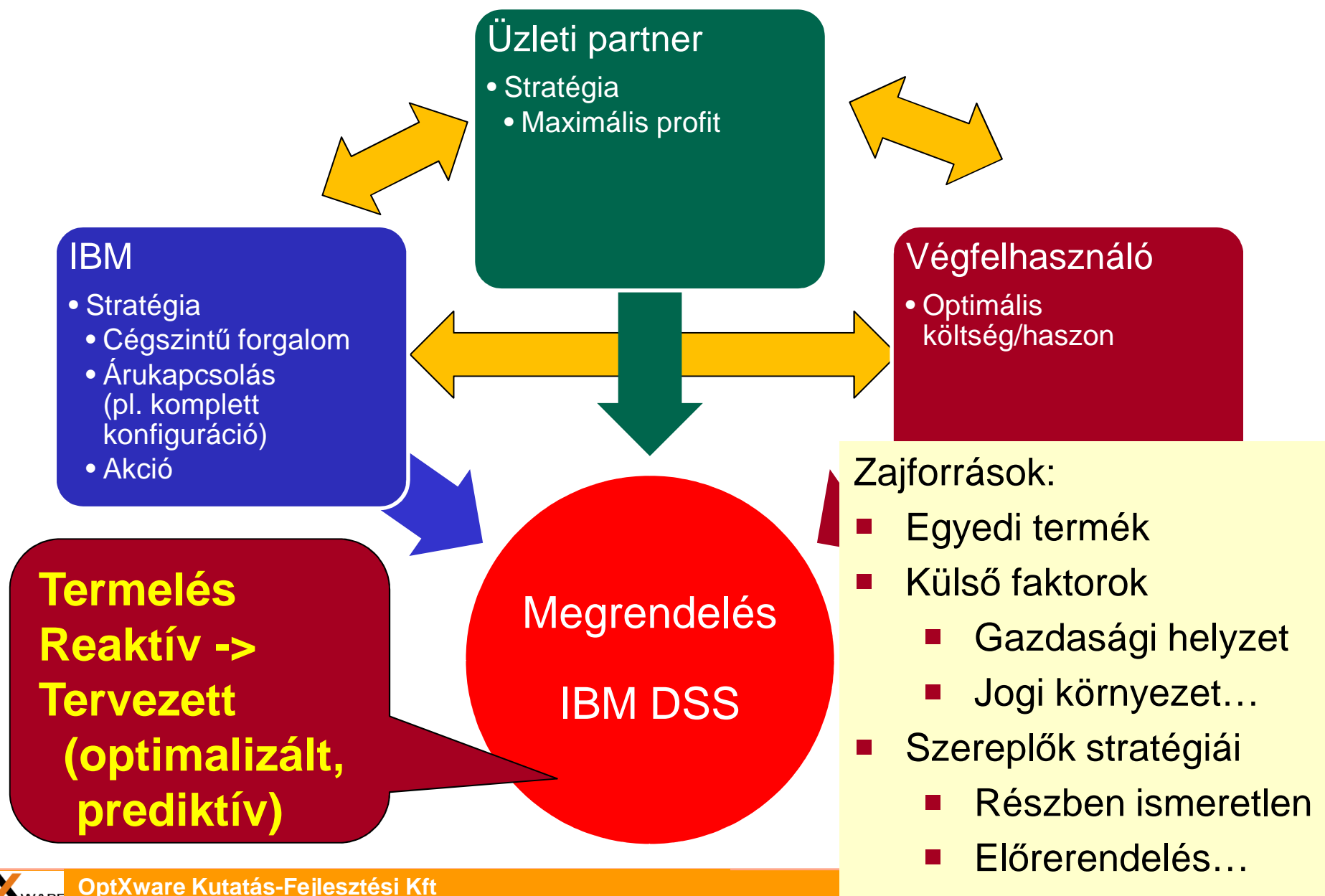
Szezonális vs. egyenletes termelés

Megrendelések érkezése

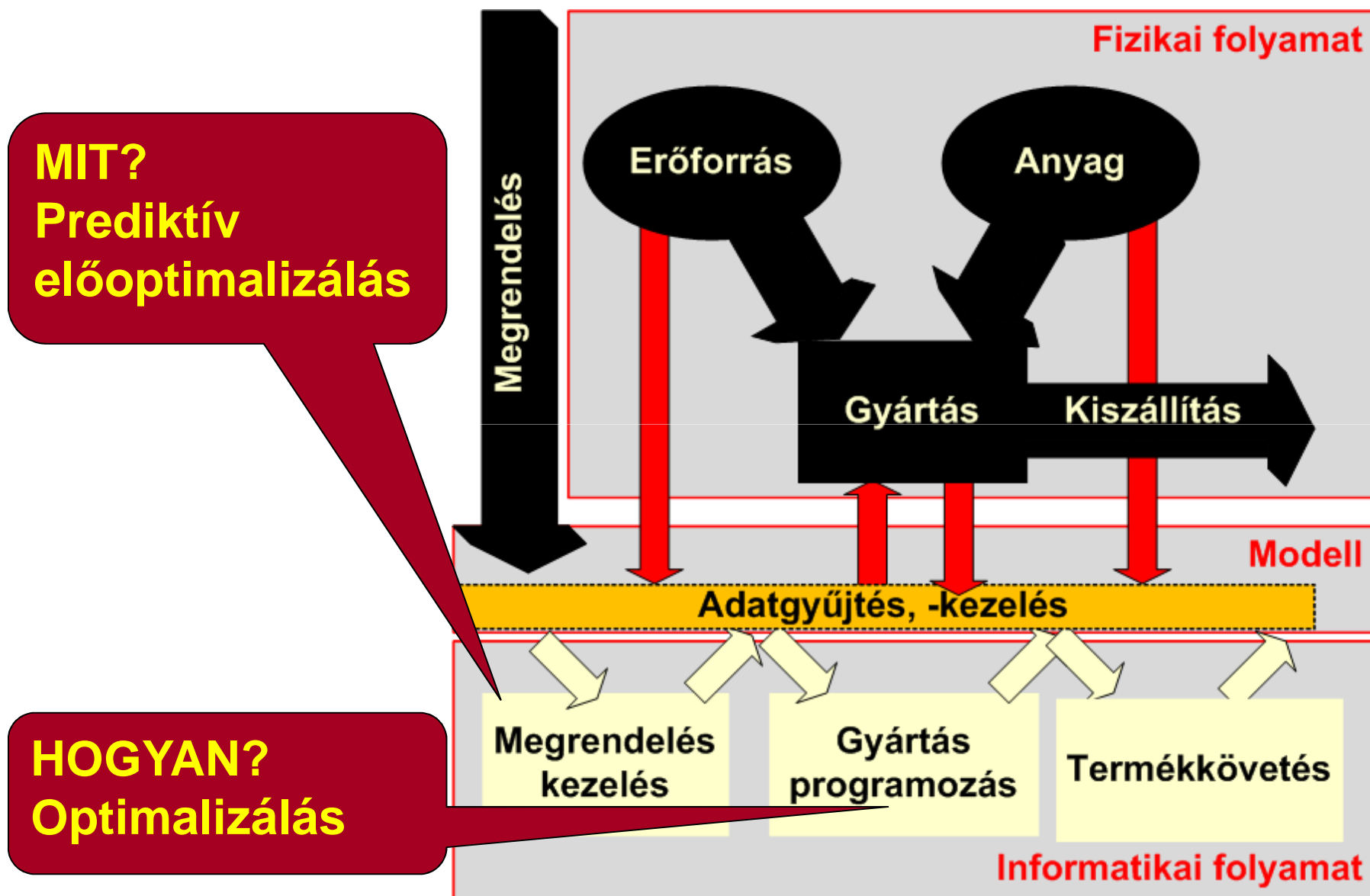
Termelés igénye



A „megrendelési játék”- részben ismert faktorok



Háttérfolyamatok és célkitűzés



A rendszeralkotás fő lépései

Rendszermodell építés

- Adatstruktúra
- Hierarchizálás

Prediktív modell kidolgozása

- Naplóanalízis
- Fenomenologikus modell
- Kauzális modell

Matematikai modell generálása

- Szimuláció
- Szűk keresztmetszetek
- Érzékenységvizsgálat
- Optimalizálás

*„Az aranyvasárnapi forgalom mindig
kb. négyszerese a bronzvasárnapinak”*

A DINAMIKA JÓSLÁSA: KORÁBBI RENDELÉSEK ELOSZLÁSÁNAK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA?

A rendszeralkotás fő lépései

Rendszermodell építés

- Adatstruktúra
- Hierarchizálás

Prediktív modell kidolgozása

- Naplóanalízis
- Fenomenologikus modell
- Kauzális modell

Matematikai modell generálása

- Szimuláció
- Szűk keresztmetszetek
- Érzékenységvizsgálat
- Optimalizálás

A DINAMIKA JÓSLÁSA:

MODELLEZÉSI FELADAT:

rendelések időbeli alakulásának modellje ?

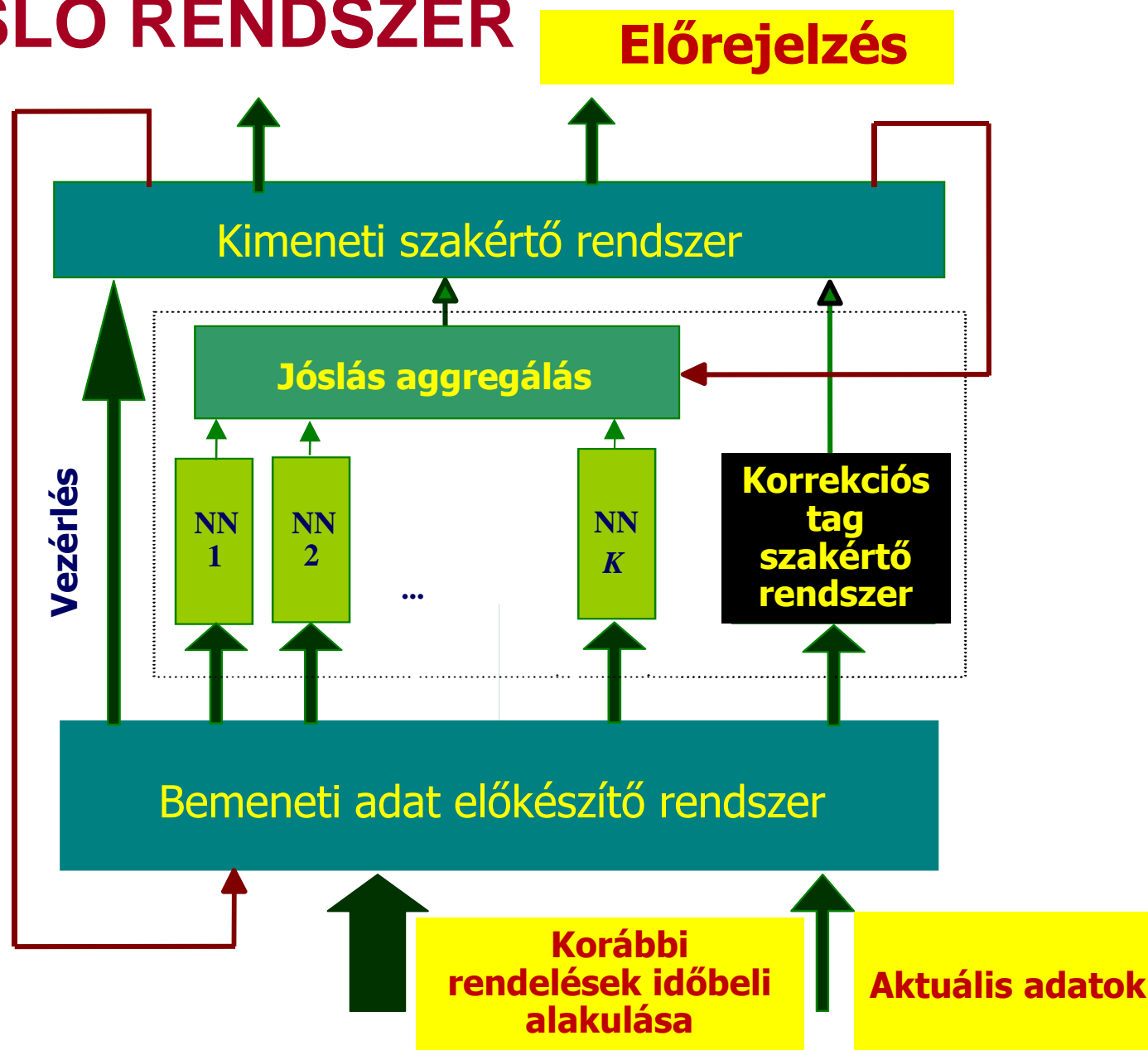
MIBŐL LEHET MODELLT ÉPÍTENI?

A *korábbi rendelések* időbeli alakulásából (régebbi adatok)+ *kiegészítő információkból* (aktuális adatok)

MILYEN ESZKÖZÖKKEL LEHET MODELLT ÉPÍTENI?

Tanuló rendszerek,
neuronhálók
hibrid „intelligens” rendszerek

A JÓSLÓ RENDSZER



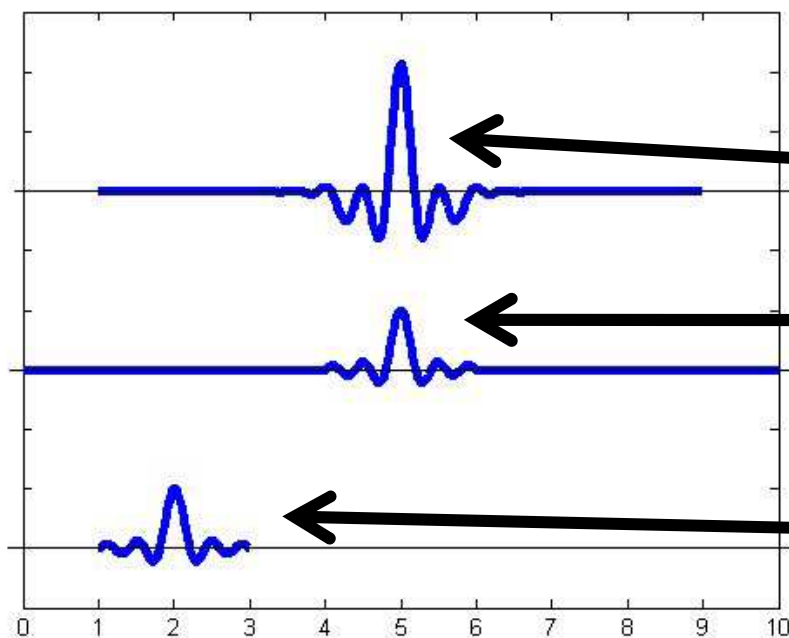
Akármit is árulunk, karácsonykor mindent elvisznek...

A DINAMIKA ÁLLANDÓSÁGA

Korreláció

Korreláció: két sorozat **hasonlóságának mértéke**
értéke **1**, ha lineárisan függenek

Autokorreláció: egy változónak a saját maga időben
vagy térben különböző értékeivel vett korrelációja.



Az autókorrreláció értéke

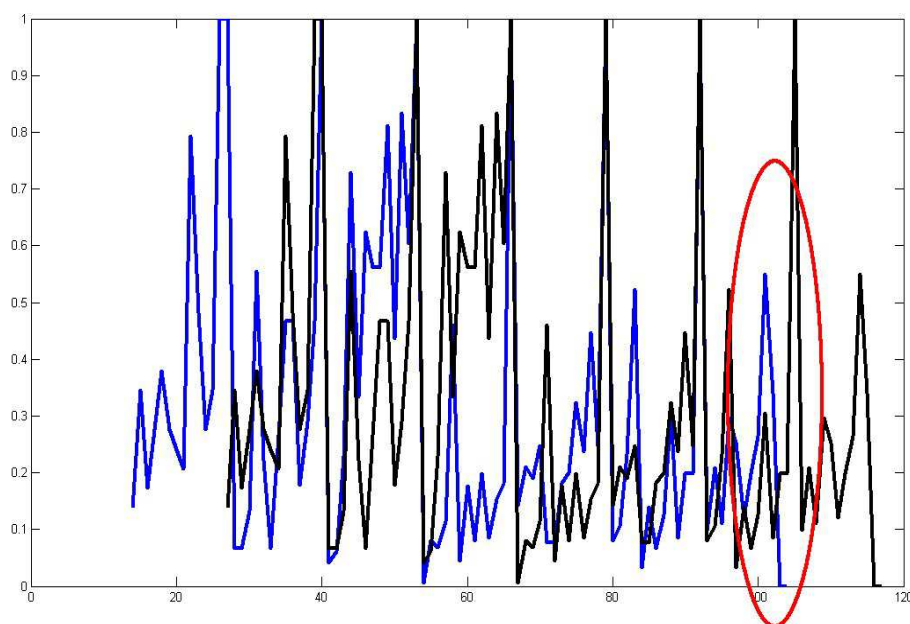
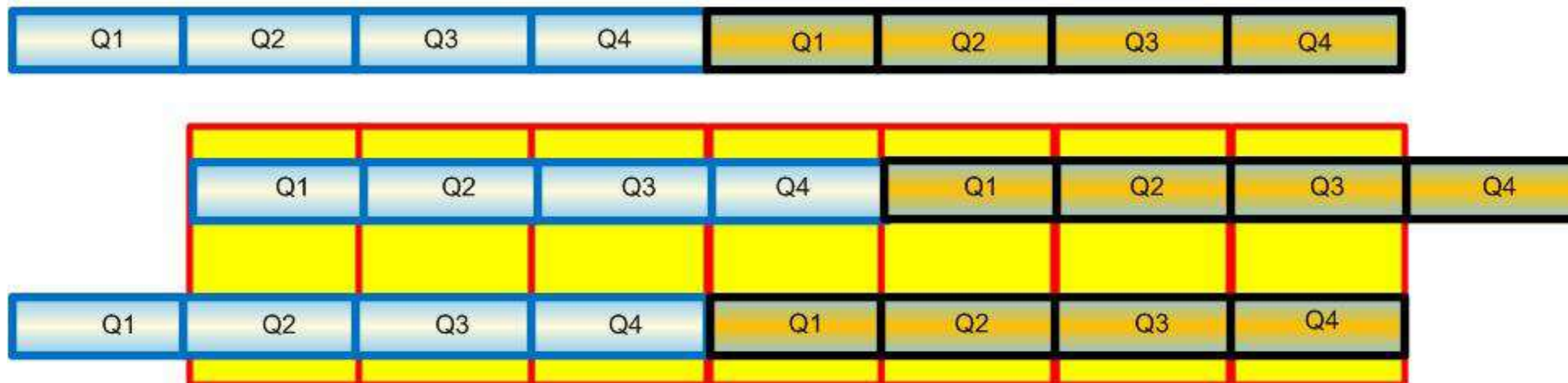
A vizsgált jel

Az a jel, amit kivágtunk és
folyamatosan toljuk el

Megrendelési dinamika „önhasonlósága”

2009

2010



- Hasonló negyedévek?
- Vizsgált szakasz autókorrelációja: 0.53
- Azonos trendek a negyedéveken belül
-> Modellezhető

Megrendelési dinamika „nyugodt negyedév”

2009

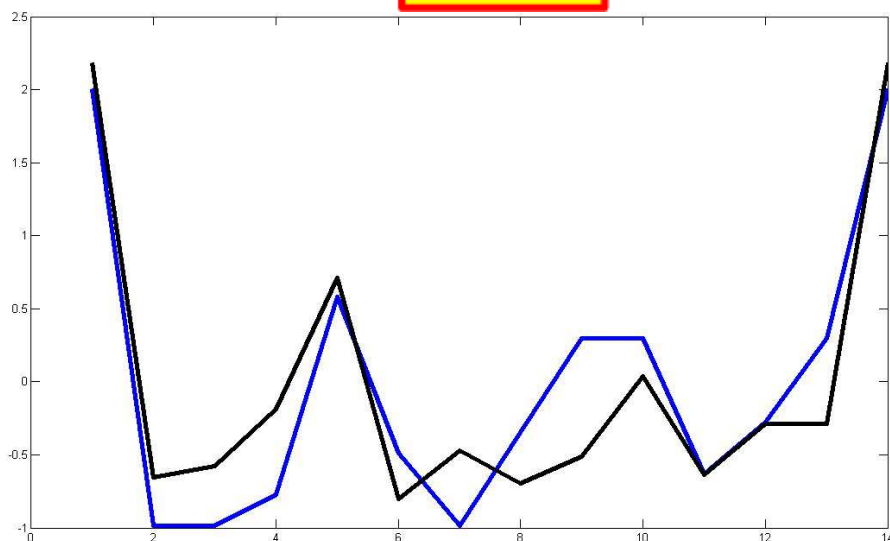
2010



2009



2010

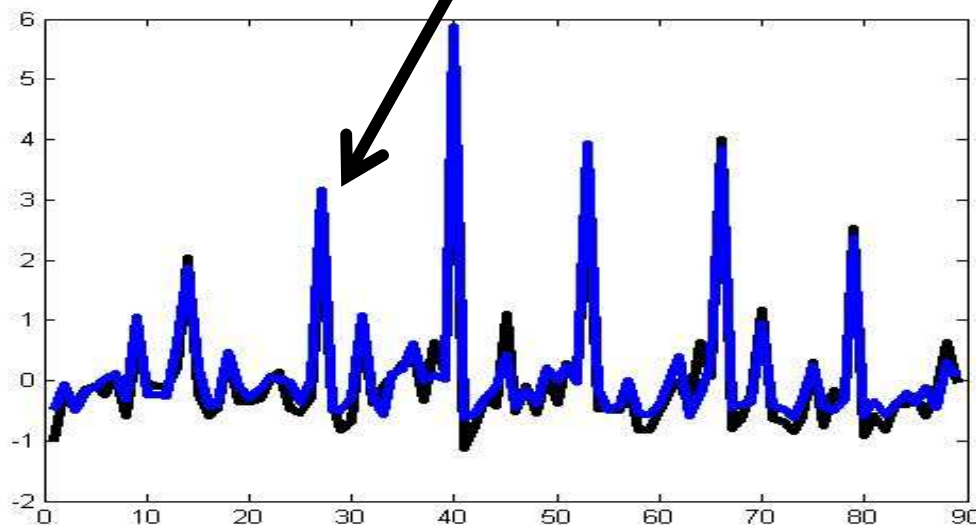
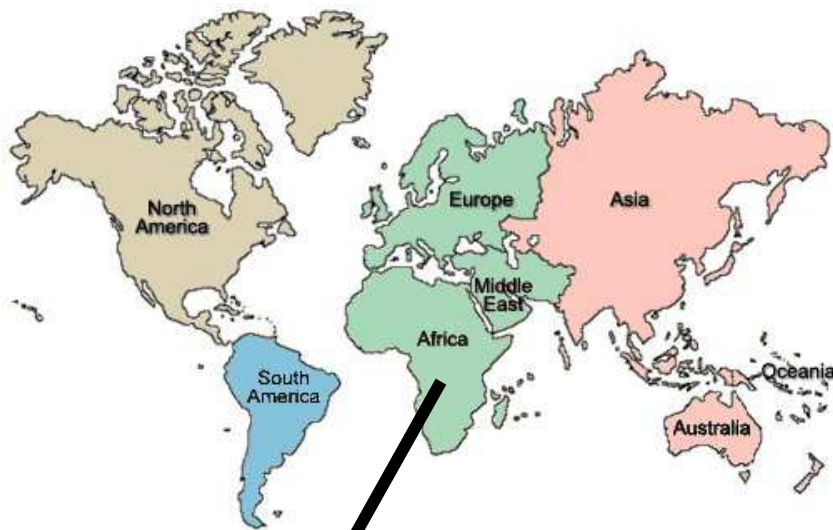


- Dinamika stabilitása?
 - Ha nincs jelentős hatás (pl. új termékcsalád)
- 2009 Q3-2010 Q3 korreláció: 0.848
- Nyugodt negyedévben azonos a megrendelés dinamikája -> jósolható!

A közvélemény kutatók 1000 főt megkérdezve...

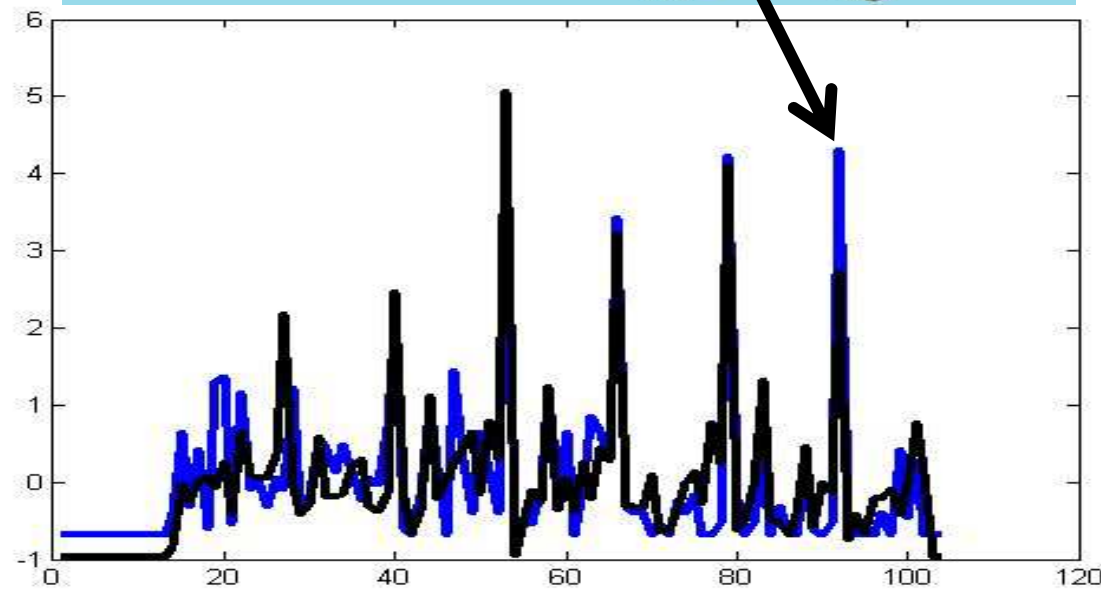
A SOK FAKTORBÓL MIT KELL FIGYELNI ÉS MILYEN GYAKRAN?

A régiók hatása a megrendelésekre



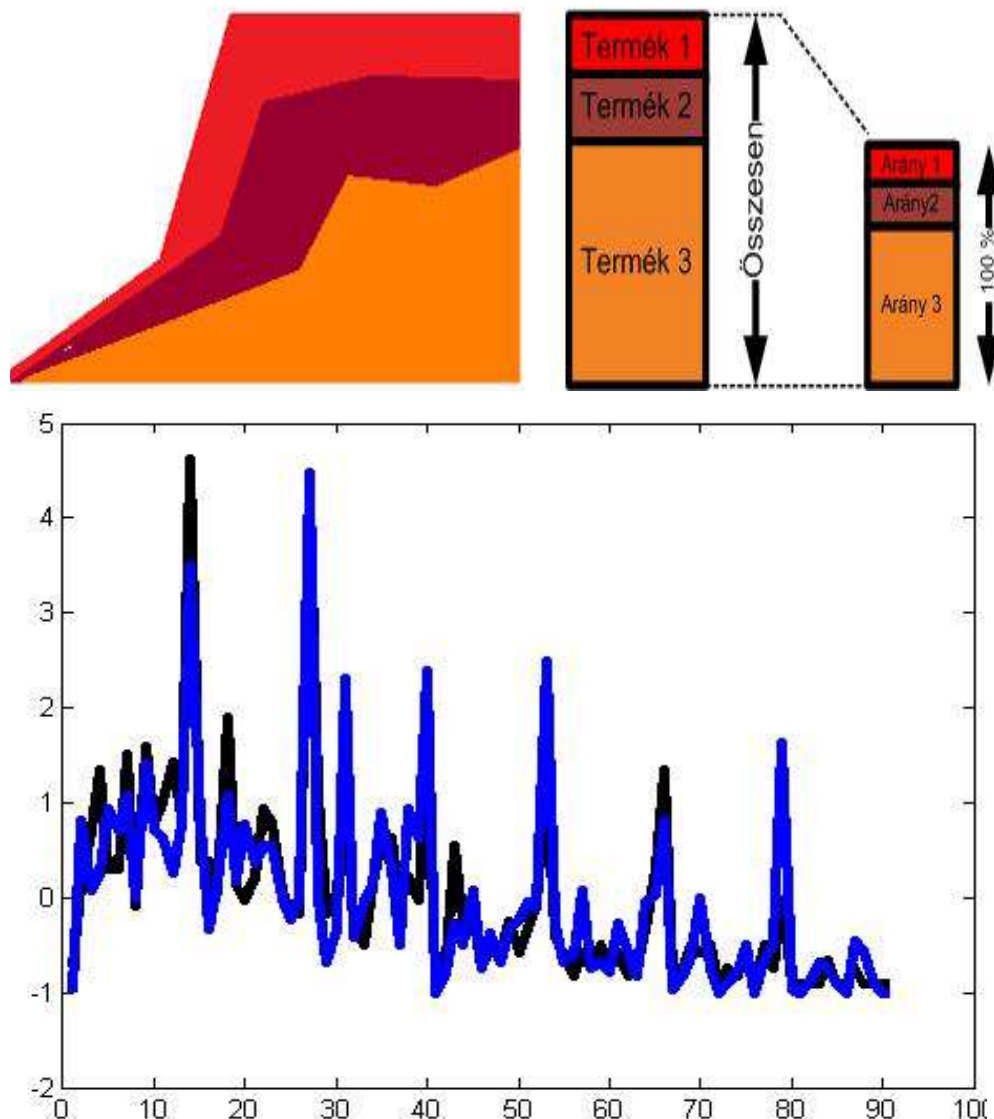
- Regionális trendek?
 - Kisebbségi régió: azonos dinamika, mint a teljes rendszer
- EMEA és globális megrendelések közötti korreláció: 0.99
- Azonos trendek -> kisebb régiók adataiból lehet az egészre következtetni!

Az országok korrelációja a rendelésekkel



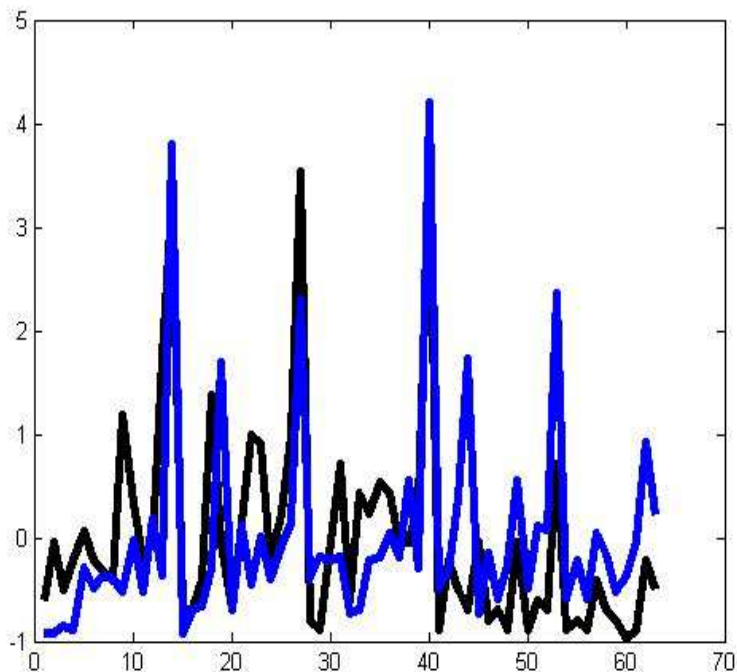
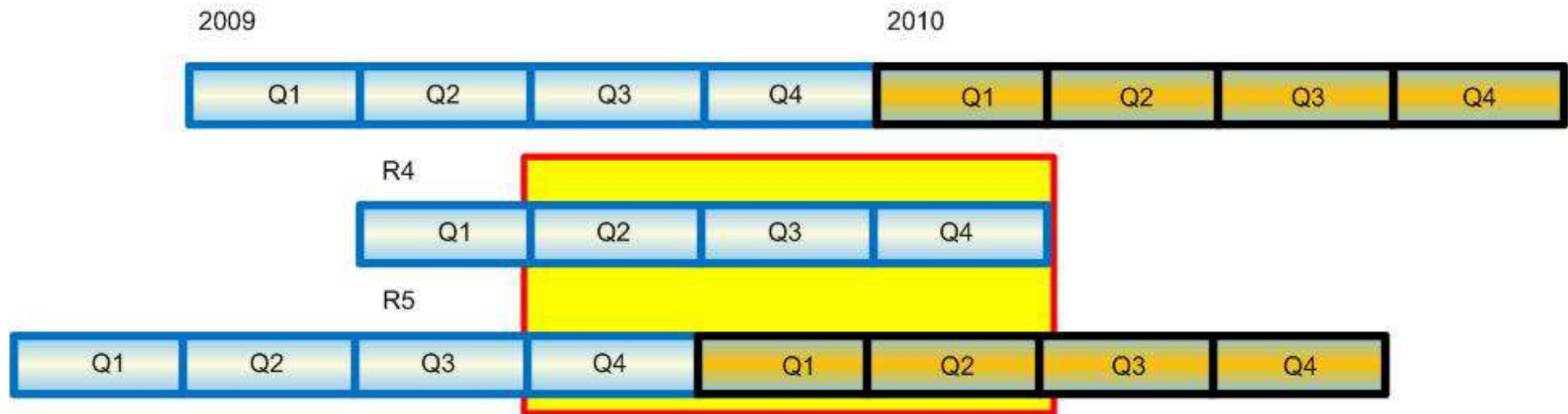
- Országok trendje?
 - Releváns államok globális trendeket adják vissza
- Németország és a globális rendelések közötti korreláció: 0.82
- Azonos trendek -> fontosabb országok adataiból lehet az egészre jósolni!

Rendelésfüggőség: modellek közti hasonlóság



- Generáción belüli hasonlóság
 - A és B dobozok között
- R4 A dobozok és R4 B dobozok 2009 Q2 és 2010 Q4 közötti korreláció: 0.88
- Azonos viselkedésűek -> arányuk ismeretében meghatározzák egymást!

Termékváltás: Generációk közti dinamika



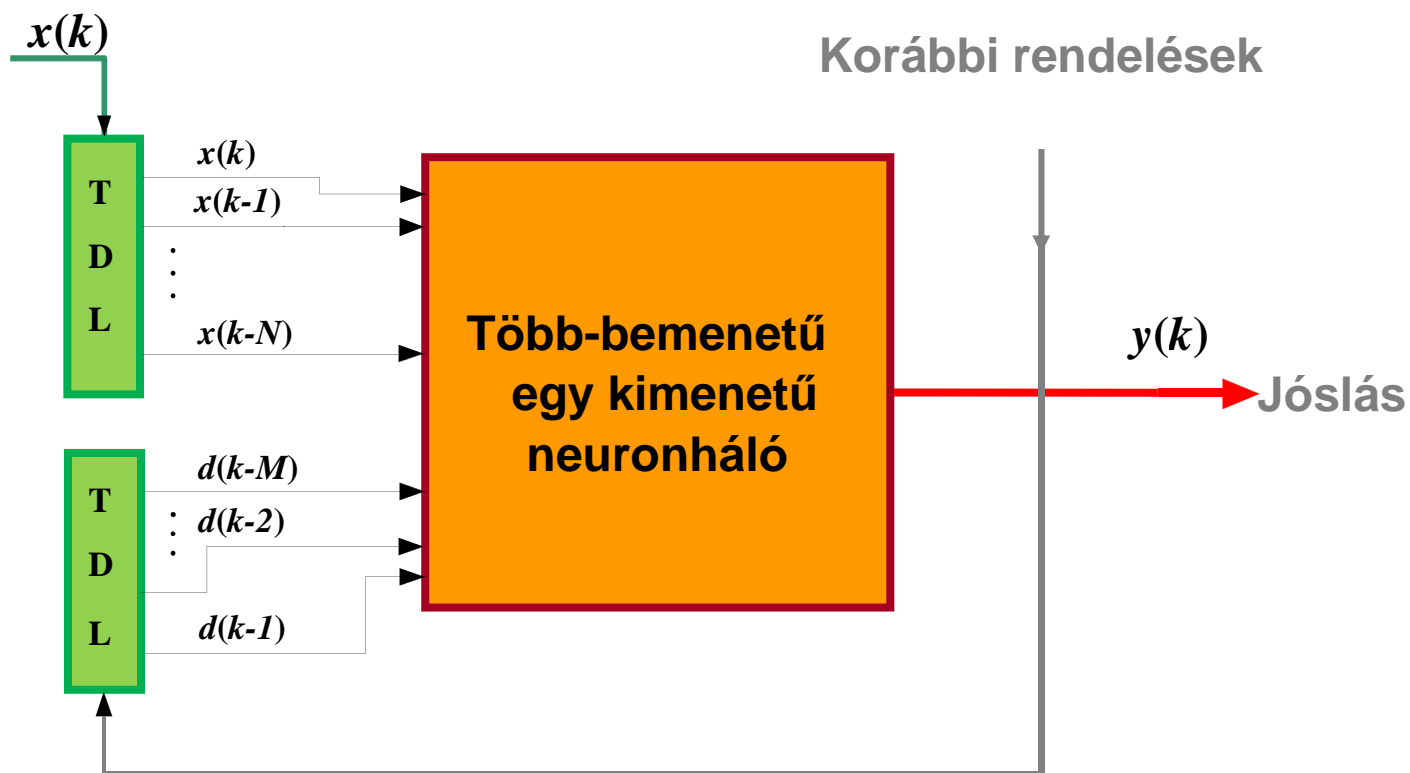
- Generációk hasonló trendjei
 - Fél év eltolást felhasználva
- R4 2009 Q2-Q4 és R5 2009 Q3 – 2010 Q1 közötti korreláció: 0.65
- Különböző generációk azonos viselkedést mutatnak!

Egy KRESZ tanfolyamon
feldolgozzák a tesztvizsga lapok $\frac{3}{4}$ -ét és
a próbavizsgán a maradék $\frac{1}{4}$ -del ellenőrzik a tudást

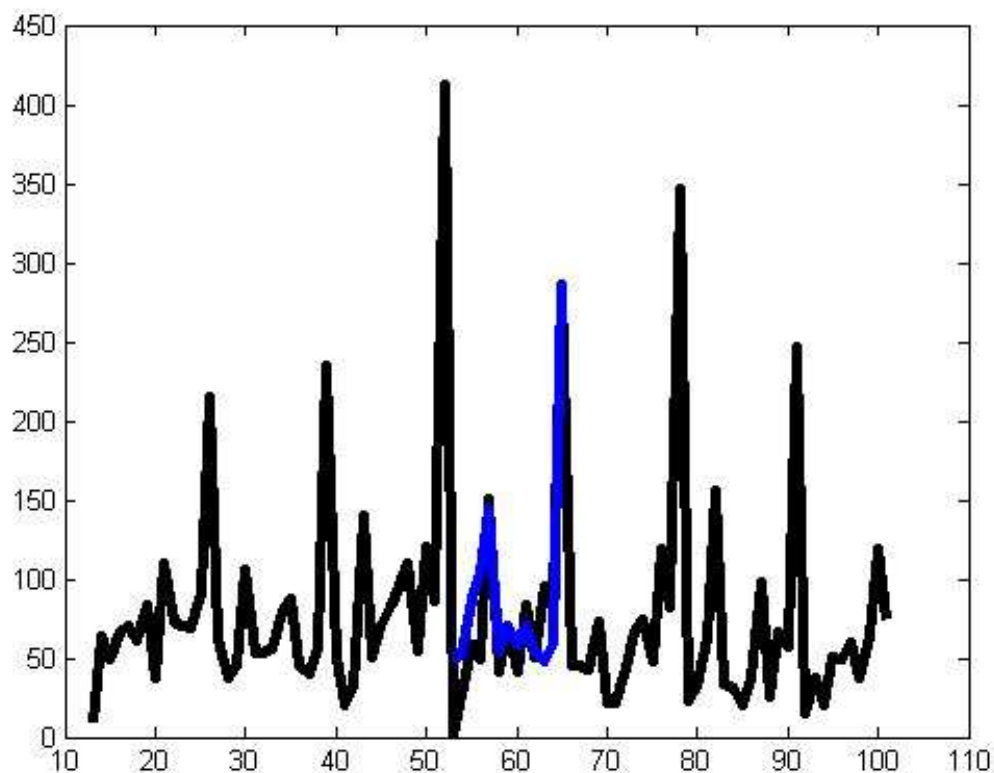
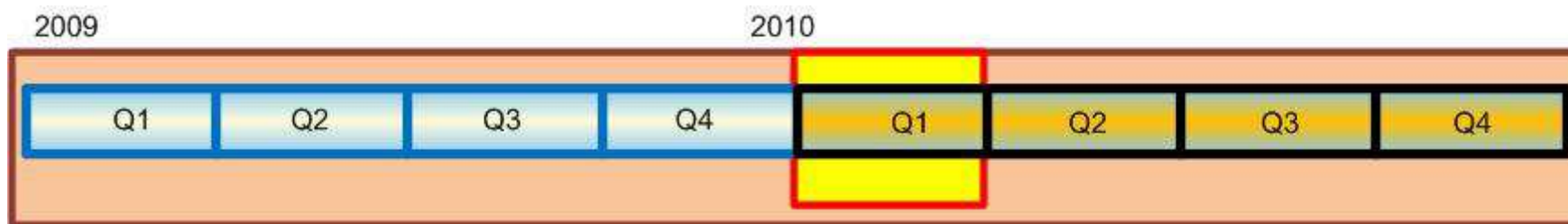
A PREDIKTOR MEGHATÁROZÁSA

Az NN doboz felépítése

Aktuális bemenetek



A rendelések becslése



- Dinamika jóslása?
 - Egy negyedévre
 - Historikus adatok
- 2010 Q1 rendelés
 - becsült : 1138,
 - valós: 1040
- Közel azonos ($\pm 10\%$) trend és rendelés szám becsülhető!

A rendszeralkotás fő lépései

Rendszermodell építés

- Adatstruktúra
- Hierarchizálás

Prediktív modell kidolgozása

- Naplóanalízis
- Fenomenologikus modell
- Kauzális modell

Matematikai modell generálása

- Szimuláció
- Szűk keresztmetszetek
- Érzékenységvizsgálat
- Optimalizálás

Modell és valóság



Matematikai modell vs. valóság

- Minden modell:
zárt világ
 - Hatások, faktorok
 - Paraméterek
 - Érvényesség
- A modell bizonytalan, működésű ezen a világon kívül
- Nem minden fejezhető ki előre
 - *Emberi döntés*
 - *Generált modellek*
 - *Megoldás validációja*
- Normál működés
 - Peremfeltételek:
 - Van elég anyag
 - **Minden** rendelés határidőre
 - Célfüggvény:
 - Költségminimum
- Rendkívüli eset
 - Peremfeltétel
 - Anyaghiány
 - Célfüggvény:
 1. **Minél több** rendelés határidőre
 2. Költségminimum

Mi a gazdasági jelentősége annak, ha a termelésbe matematikai optimalizálási technikákat építünk?

MIT HOZHAT AZ OPTIMALIZÁLÁS?

Kisérlet: Ütemezés tökéletes prediktor esetén

- A jövőt könnyű utólag megjósolni
 - A negyedév első napján a jövő ismert
 - Minden egyes valódi megrendelés
 - Induló készlet nélkül megy-e a teljes „start of build” gyártás?
- Optimális összeszerelés- és tesztütemezés?



Optimalizálási feladat (példa)

- **Bemenő adatok:**
 - megrendelések:
 - termék konfiguráció,
 - minimum és maximum szállítási határidő
 - átlagos, illetve maximum tesztelési idő
- **Kényszerek:**
 - a tesztcellák száma
 - minden megrendelt egység határidőn belül
- **Célfüggvények:**
 - MIN(az utolsó tesztelés befejezési ideje)
 - HA(nincs a kényszereket kielégítő ütemezés) ->
 1. MIN(a nem teljesített megrendelések száma)
 2. MIN(késések összideje)
- **Eredmény – ütemezés**
 - szerelés/tesztelés kezdete, vége

IBM ILOG CP Optimizer modell

The screenshot shows the Eclipse IDE with the IBM ILOG CP Optimizer model loaded. The main editor displays the following code:

```
 /*****  
  * Variables *  
  *****/  
  
 i dvar interval schedule[f in fulfillOrder] size f.testTime;  
 dvar int start[f in fulfillOrder];  
 dvar int end[f in fulfillOrder];  
  
 /*****  
  * Decision expressions *  
  *****/  
  
 cumulfunction resourceCell usage =  
   sum(f in fulfillOrder) pulse(schedule[f], f.usedCells);  
  
 /*****  
  * Objective *  
  *****/  
  
 minimize max(f in fulfillOrder) endOf(schedule[f]);  
  
 /*****  
  * Constraints *  
  *****/  
  
 subject to {  
  
   forall(f in fulfillOrder, o in Orders: f.orderId == o.orderId)  
   ctShipmentDeadline:  
     endOf(schedule[f]) <= o.maxDeadline;  
  
   ctCellConstraint:  
     resourceCell_usage <= maxResourceCell;  
  
 }
```

The Outline view on the right shows the model's structure:

- using CP
- Types (4)
 - assemblyForOrder : tuple<orderId:string, typeOfString:string, typeOfCor
 - order : tuple<orderId:string, minDeadline:int, maxDeadline:int, typeOfStr
 - testTime : tuple<typeOfString:string, typeOfCombo:string, timeOfTest:i
 - usedCellForTest : tuple<stringType:string, Cells:int>
- Internal data (1)
 - fulfillOrder : {assemblyForOrder}
- External data (5)
 - maxResourceCell : int
 - orderId : {string}
 - Orders : {order}
 - resourceCell : {usedCellForTest}
 - testTimeData : {testTime}
- Decision variables (3)
 - end : dvar int[fulfillOrder]
 - schedule : dvar interval[fulfillOrder]
 - start : dvar int[fulfillOrder]
- Decision expressions (1)
 - resourceCell_usage : cumulFunction
- Constraints (4)
 - ctCellConstraint
 - f in fulfillOrder
 - f in fulfillOrder
 - f in fulfillOrder, o in Orders: ...
 - ctShipmentDeadline
- Post-processing scripts (1)
 - Anonymous#1



Eredmény

Teszt ütemezése

Modell

Pontosság:

- Közelítő megoldás elég
- Optimum ± 3 óra

Összes tesztidő -40%

- DE: tökéletes jóslás
- Start of build lehet

CSP feladat adatai,

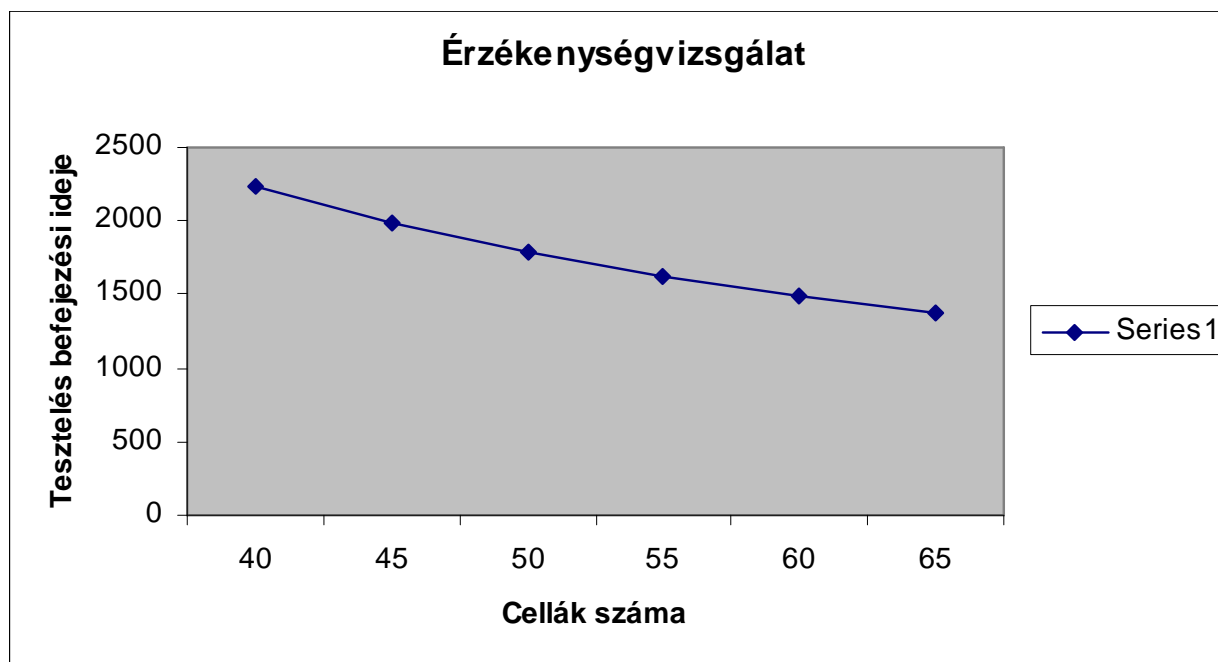
Célfüggvény értéke / futás ideje

The screenshot shows the Eclipse IDE with an OPL model. The main window displays a table with columns for Start and End times. Below it, a 'Statistics' window shows various metrics. At the bottom right, a graph plots 'Objective' (green line) and 'Solution' (yellow squares) against 'Time (seconds)'. The graph shows a sharp drop in the objective value from approximately 2360 to 2,346 within the first 10 seconds, followed by a gradual decrease to the final value of 2,346 at 110 seconds.

Property	Value
Internal	True
Objective	2,346
Number of fails	21476
Number of branches	159206
Choice points	138221
Memory usage	36619680
Variables	3648
Constraints	3652

Érzékenységvizsgálat

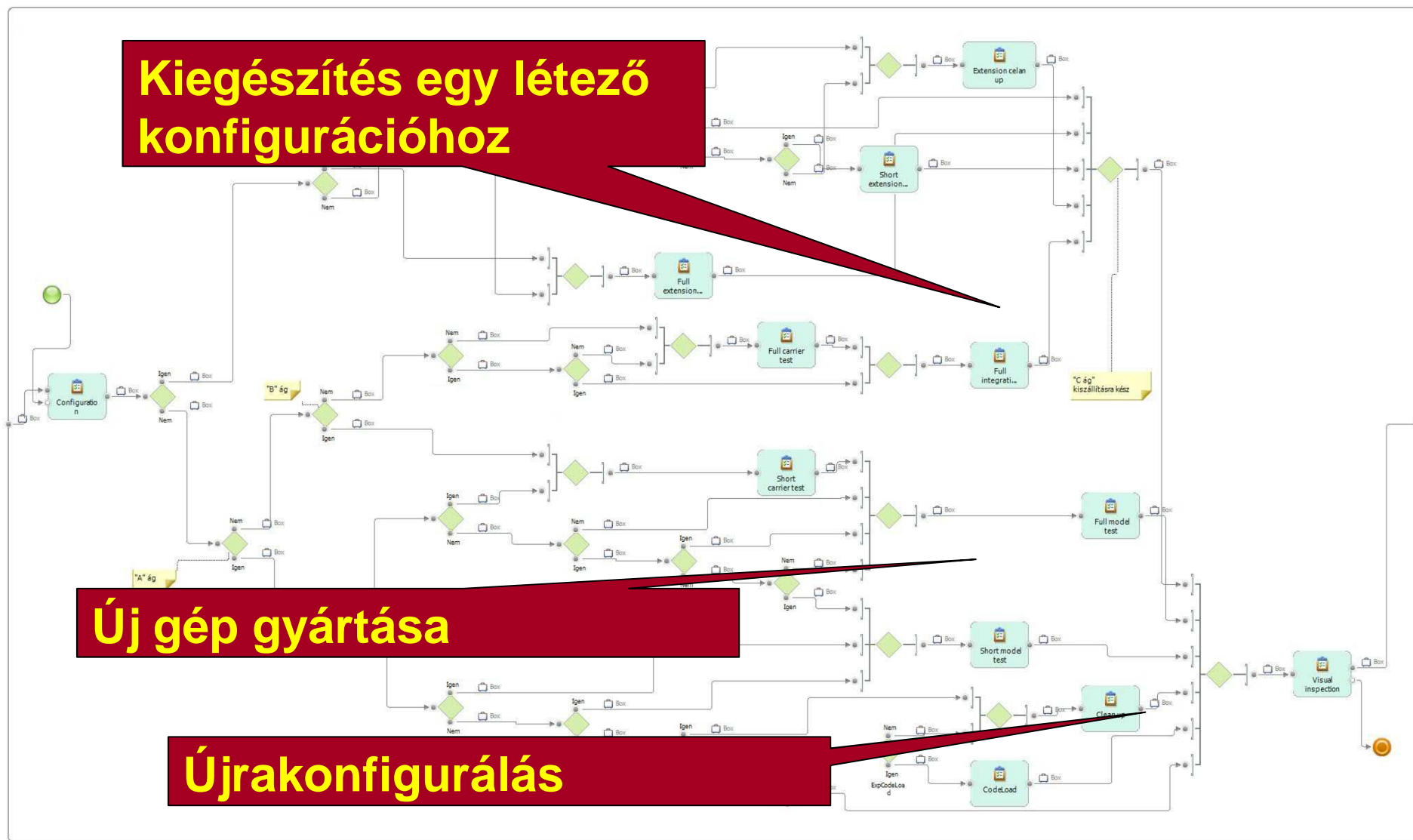
- Optimum változása a cellák számának függvényében
 - Relatív tolerancia: 0,001
 - Futási idő: 38 másodperctől 1 perc 40 másodpercig



A matematikai modell korlátos kifejezőerejű. Az eredmények validációja, „what-if” analízis

SZIMULÁCIÓ

Példa folyamat – tesztelési lépések



Szimuláció

Érzékenységvizsgálat

- Mi történik, ha rosszul becsülünk?
- Mik a lényeges paraméterek?

Mi a hatása az egyes prediktoroknak/optimalizációs algoritmusoknak?

- Egyszerű, valószínűségi modell
- Könnyű kiértékelés, általános metrikák
- Kísérletek száma² ~ pontosság

Átfutási idők becslése

- Teljesíthető-e ennyi feladat adott idő alatt?
- Hol várakoznak feladatok?
- Mik a kritikus feladatok?

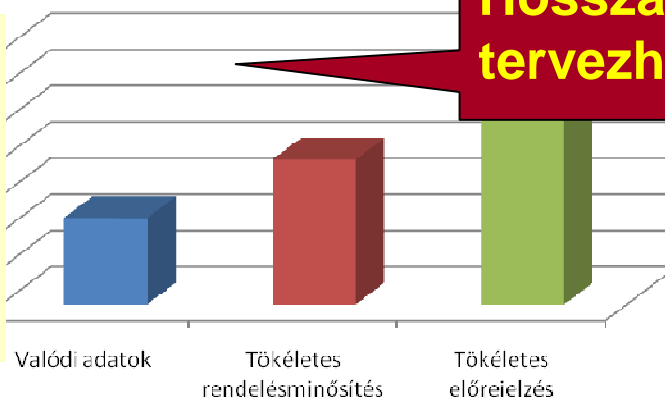
Kapacitástervezés

- Elég-e a meglévő infrastruktúra/állomány?
- Mit bővítsünk?

Jóslás és predikció hatása

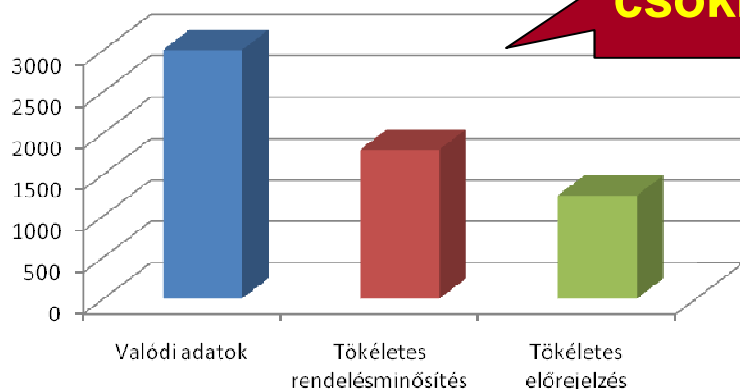
Néhányszor 10%-os költségmegtakarítást hozhat a predikció és az optimalizálás

Átlagos tesztelési idő



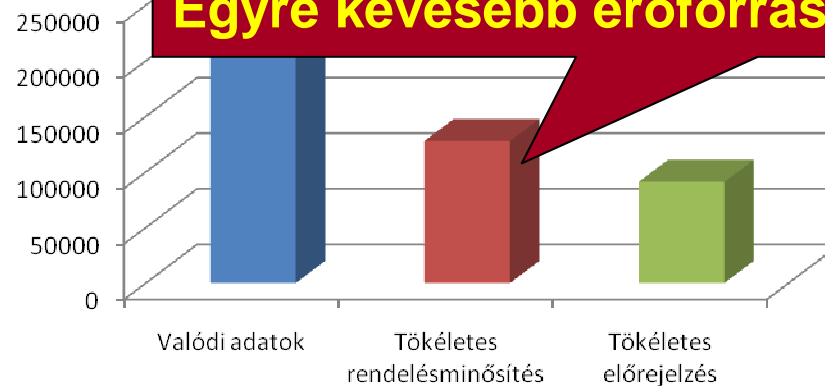
Hosszabb, egyenletes tesztek, tervezhetőség

Tesztesetek száma



Tesztesetek száma csökken

Összes tesztelési idő



Egyre kevesebb erőforrás

Erőforrások szerepe

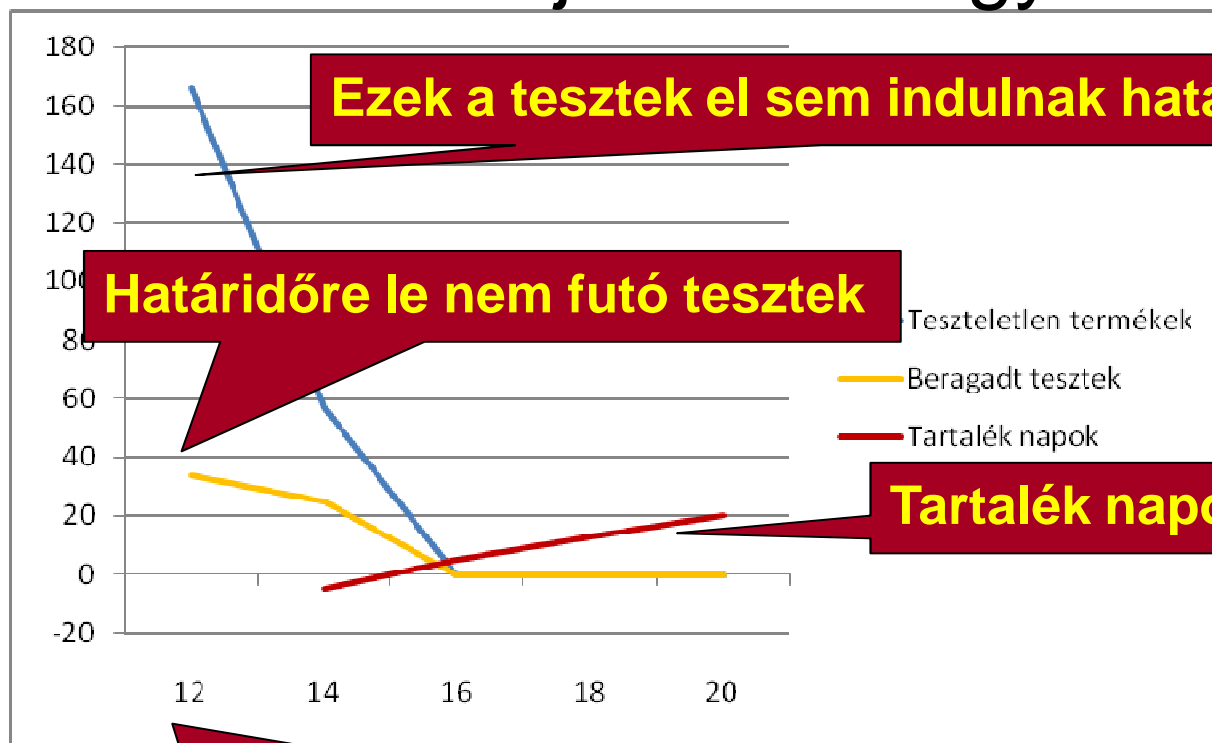
- Hogyan függ a tesztelési idő a teszt cellák számától? (adott feladatoknál)



- Adott tartományon belül érzékeny a rendszer az erőforrások számára
- Addig érdemes fejleszteni, amíg a várakozási idő az elfogadható szint alá kerül

Áteresztőképesség

- Milyen ütemben kell termelnie a gyárnak, hogy a határidő teljesíthető legyen?



Ezek a tesztek el sem indulnak határidő előtt

Határidőre le nem futó tesztek

Tartalék napok a félév végéig

A gyár garantált napi kibocsátása (teszt input)

- Még tökéletes előrejelzés mellett is kritikus az egyenletes termelés

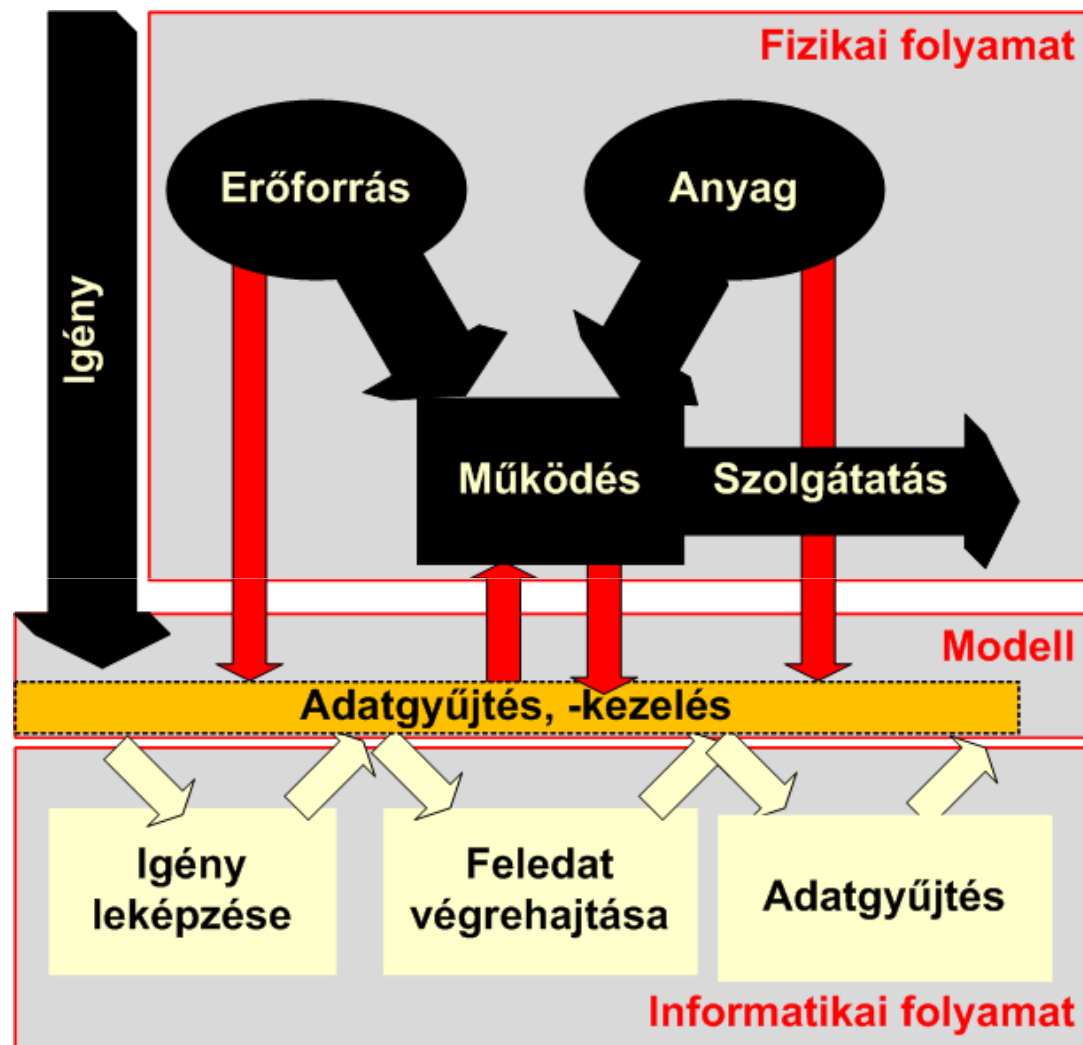
**A leghatékonyabb megtakarítás,
ha ésszel él az ember**

SMART=INTELLIGENS

Az intelligencia mindenütt egyforma

Kulcselemek

- fizikai folyamat:
 - vezérlés
 - monitorozása
- Modell
 - előzetes adatok alapján tudásalapú szabályozás
- Optimalizálás
 - MIT
 - HOGYAN



Konklúzió

- A rendszer szemantikus modellje kulcselem
 - Adatelemzés
 - Matematikai modellgenerálás
 - SW modell
- A múlt tanulságaiból a jövő megjósolható
 - A napló kincsesbánya
 - Intelligens módszerek: megfigyelés sorozat-> tudás
- A való élet nem zárt modell
 - Érzékenységvizsgálat
 - Operator in the loop
 - Generált matematikai modellek
- A matematikai analízis
 - 10% nagyságrendű költségmegtakarítás
 - Szűk keresztmetszetek meghatározása -> hova érdemes beruházni
- Persze sok megfigyelés – nagy tároló igény
 - GOTO **IBM DSS**