



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

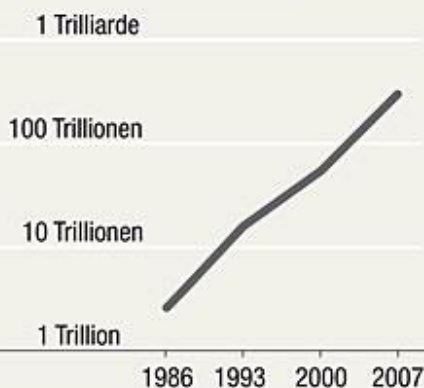




Háttér: az információk robbanás

Weltweite Menge an Information

Entwicklung der gespeicherten Daten in Byte (exponentielle Darstellung)



Speichermedien

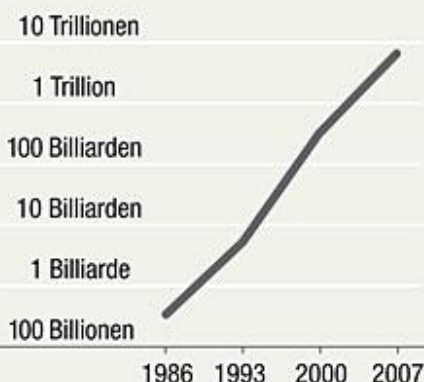
Anteil in Prozent

analog digital



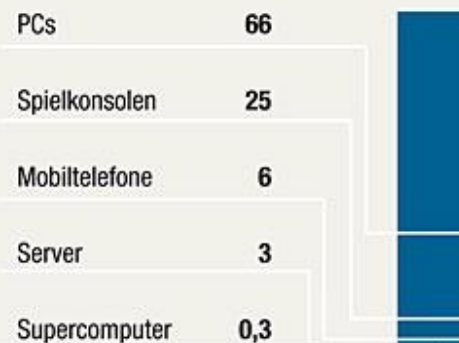
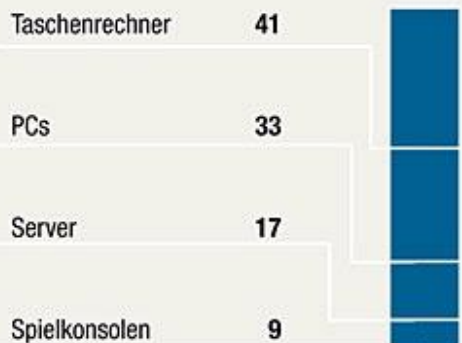
Globale Computerleistung

Entwicklung der Rechengeschwindigkeit in IPS (Instruktionen pro Sekunde) (exponentielle Darstellung)



Technologie

Anteil in Prozent*



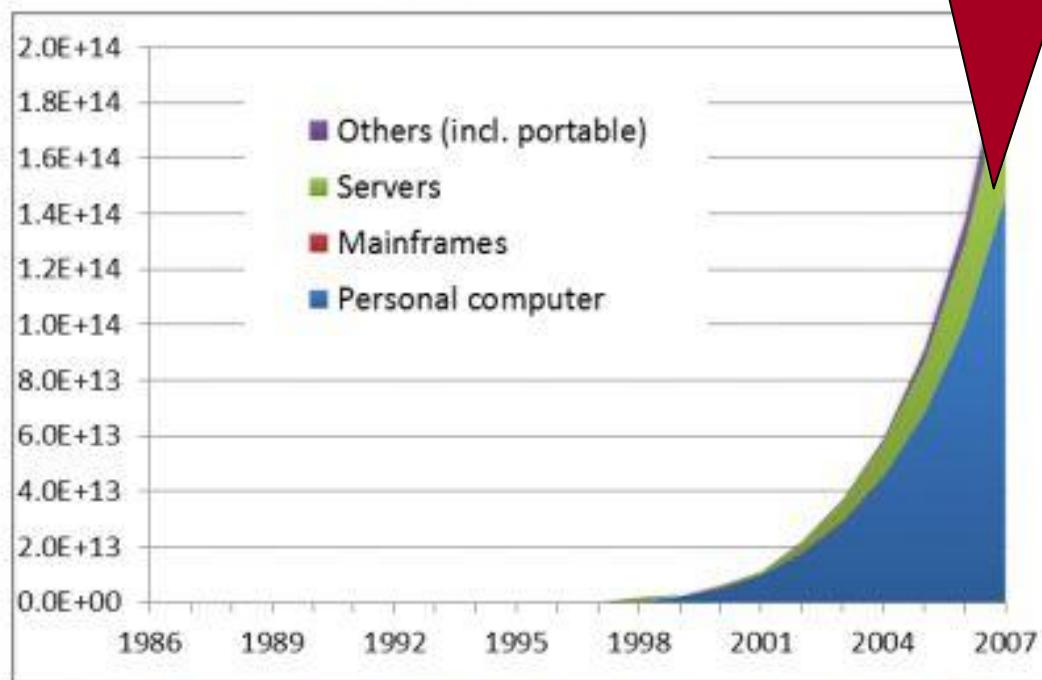
SZ-Graphik: Ilona Burgarth; Quelle: Hilbert und López, Science

*Rundungsbedingte Differenzen

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

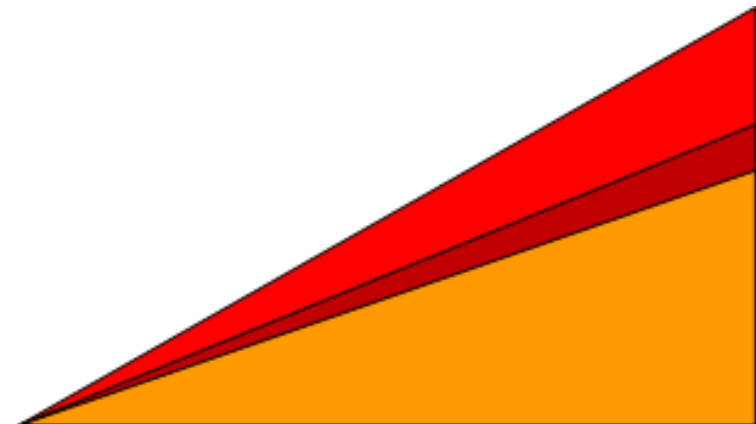
A rendelések negyedév végére összpontosulnak,
a termelésnek egyenletesnek kellene lennie

A TÁROLÓ IS SZEZONÁLIS TERMÉK

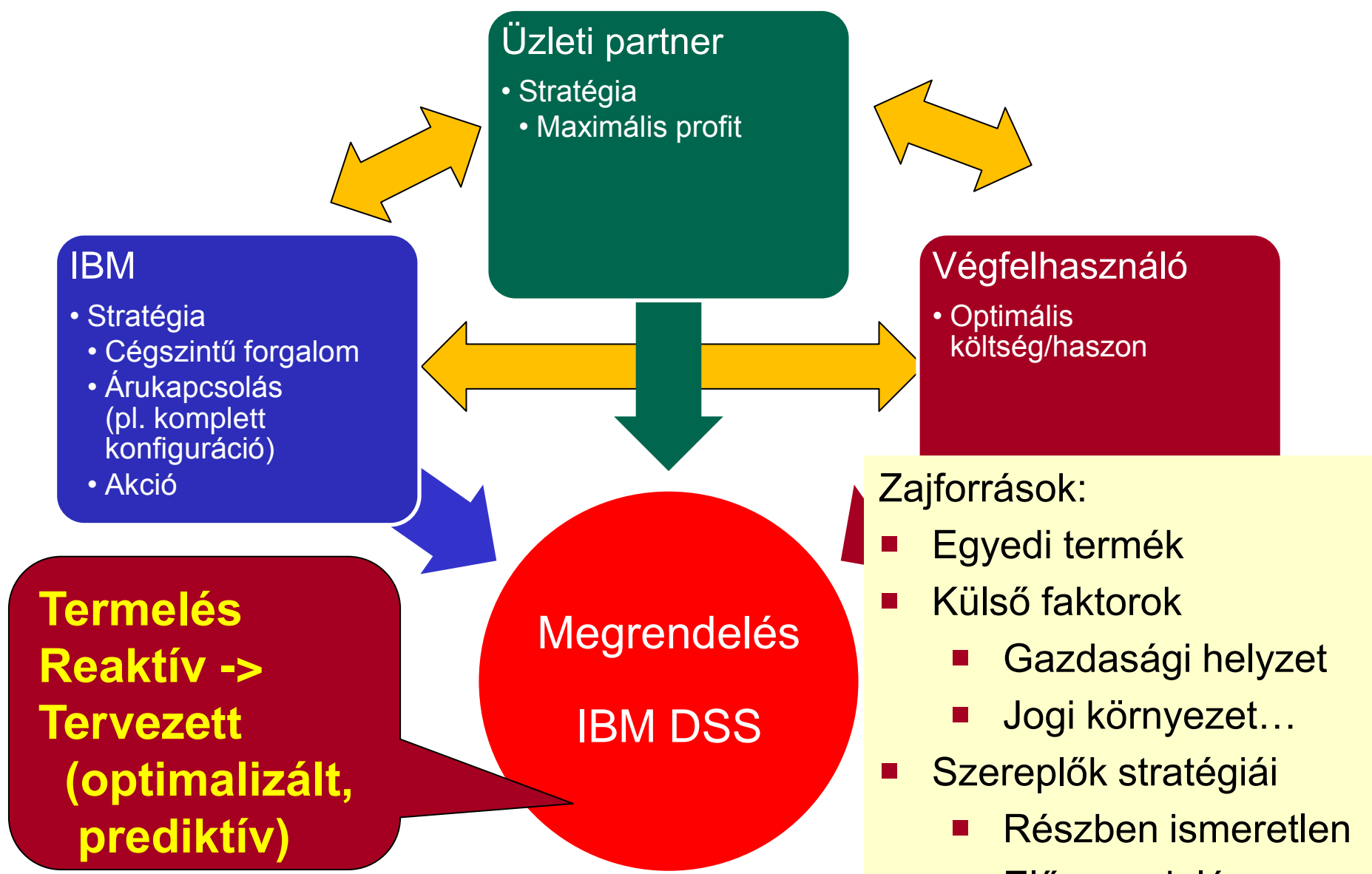
Szezonális vs. egyenletes termelés

Megrendelések érkezése

Termelés igénye



A „megrendelési játék”- részben ismert faktorok



Üzleti partner

- Stratégia
- Maximális profit

IBM

- Stratégia
- Cégszintű forgalom
- Árukapcsolás (pl. komplett konfiguráció)
- Akció

Végfelhasználó

- Optimális költség/haszon

Termelés Reaktív -> Tervezett (optimalizált, prediktív)

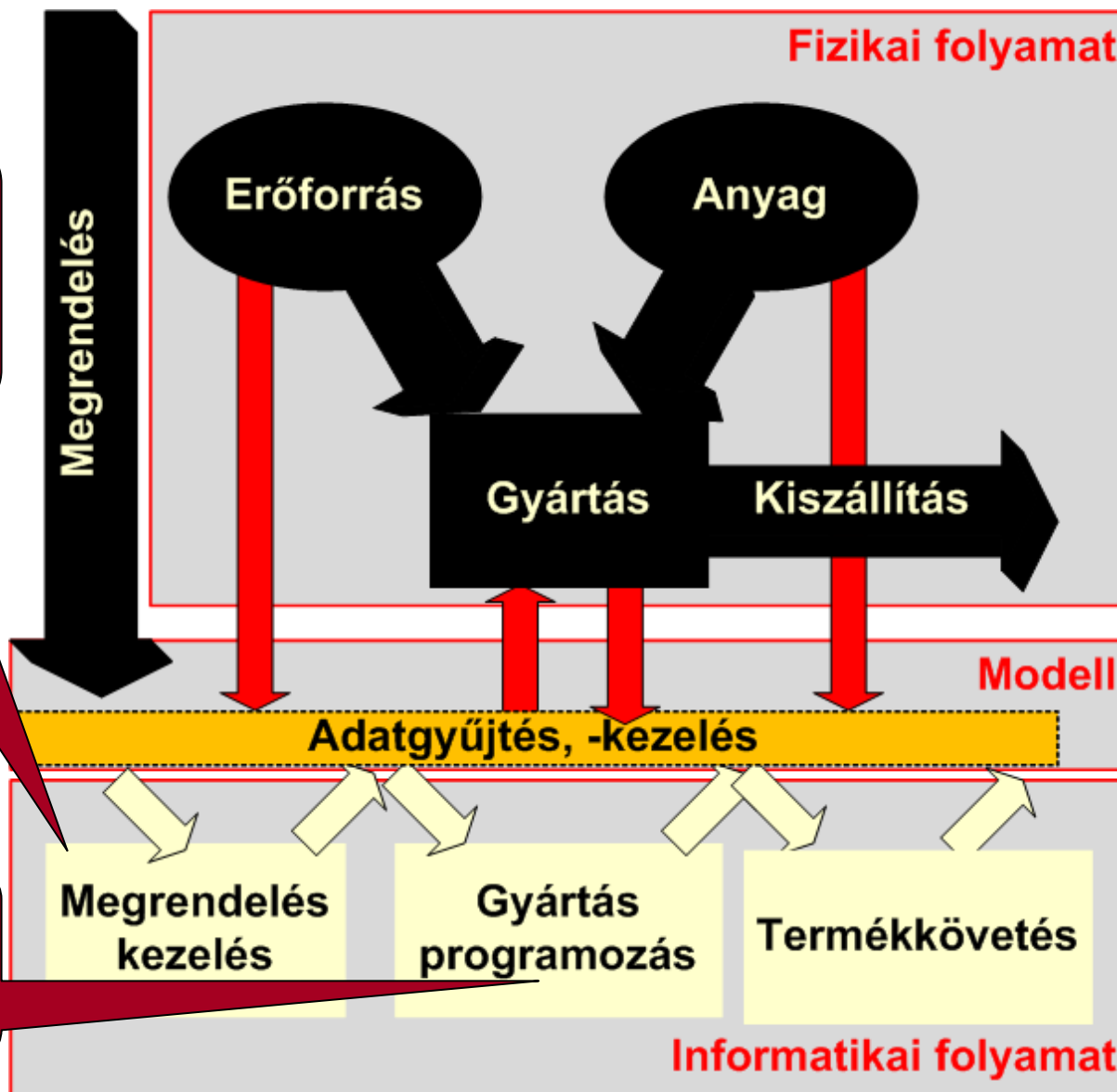
Megrendelés IBM DSS

- Zajforrások:**
- Egyedi termék
 - Külső faktorok
 - Gazdasági helyzet
 - Jogi környezet...
 - Szereplők stratégiái
 - Részben ismeretlen
 - Előrerendelés...

Háttérfolyamatok és célkitűzés

MIT?
Prediktív
előoptimalizálás

HOGYAN?
Optimalizálás



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)

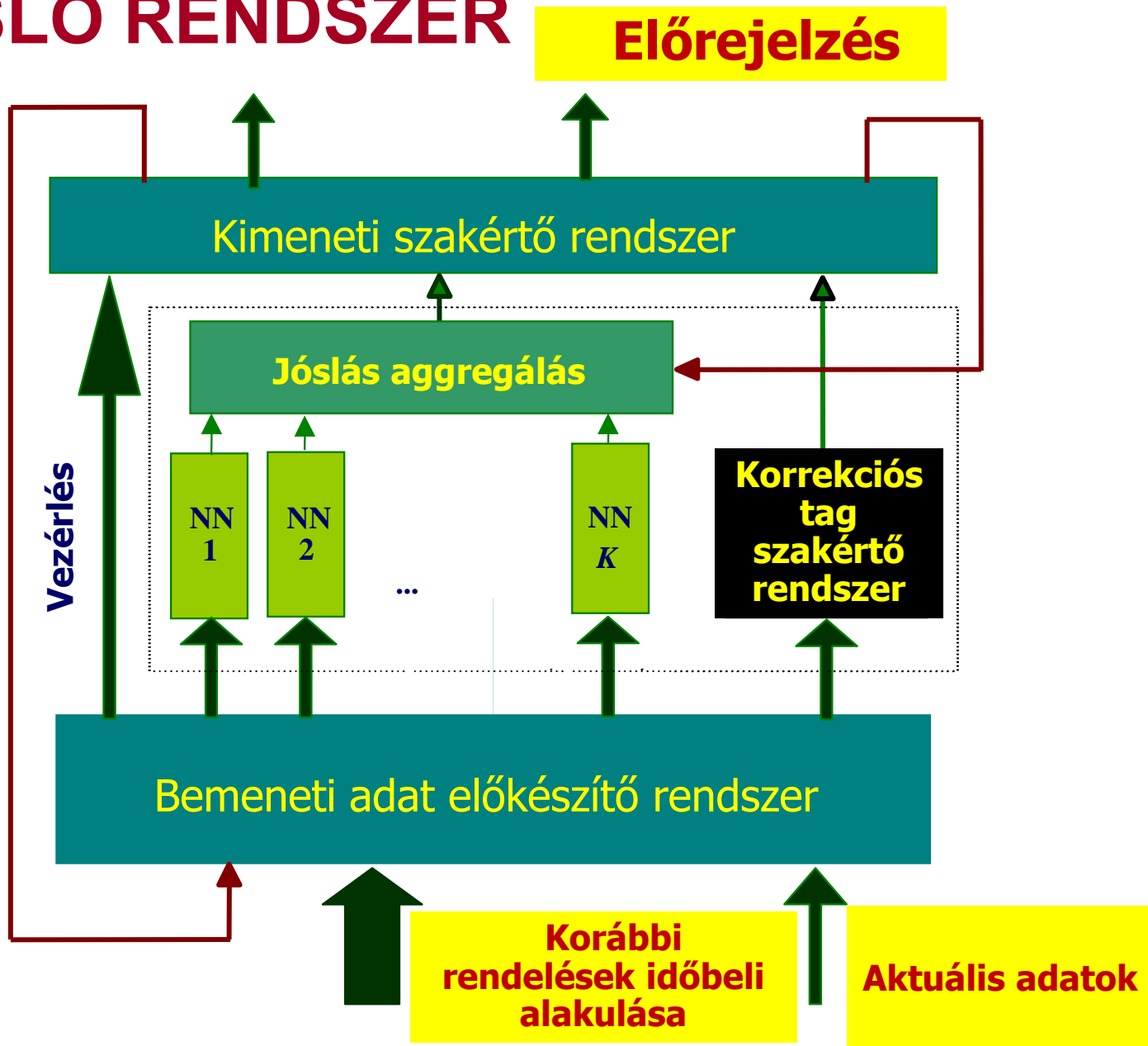
MILYEN ESZKÖZÖKKEL LEHET MODELLT ÉPÍTENI?

Tanuló rendszerek,

neuronhálók

hibrid „intelligens” rendszerek

A JÓSLÓ RENDSZER



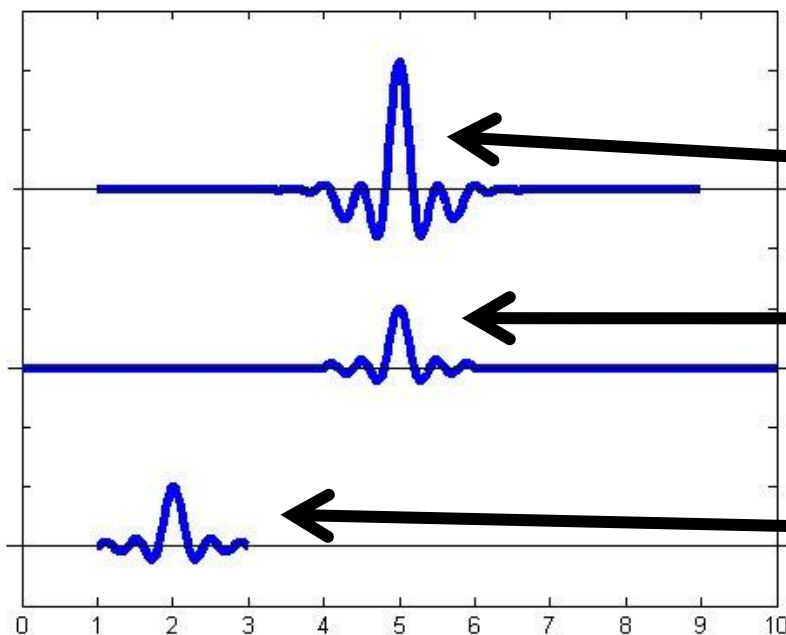
Akármit is árulunk, karácsonykor mindent elvisznek...

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.

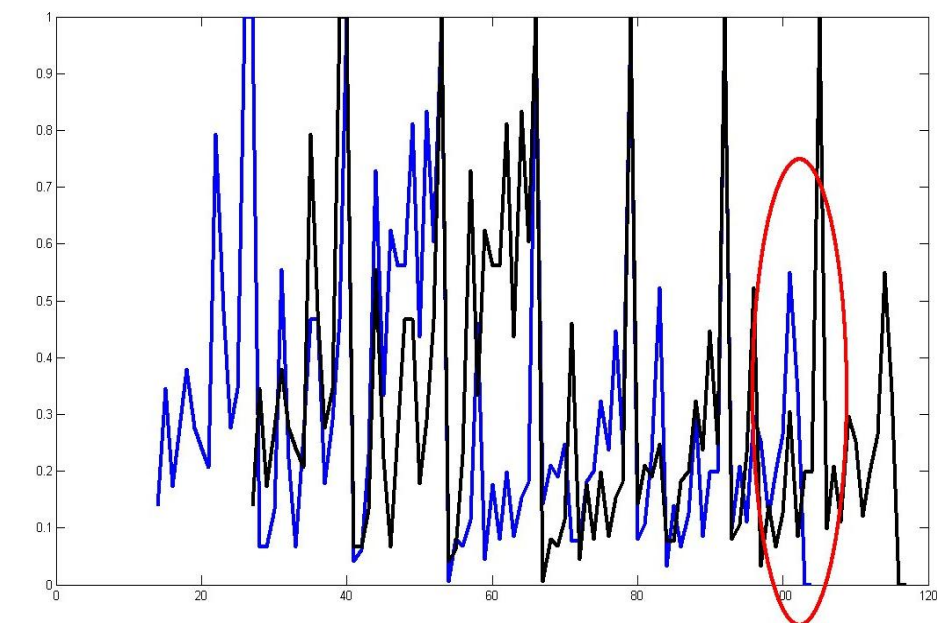
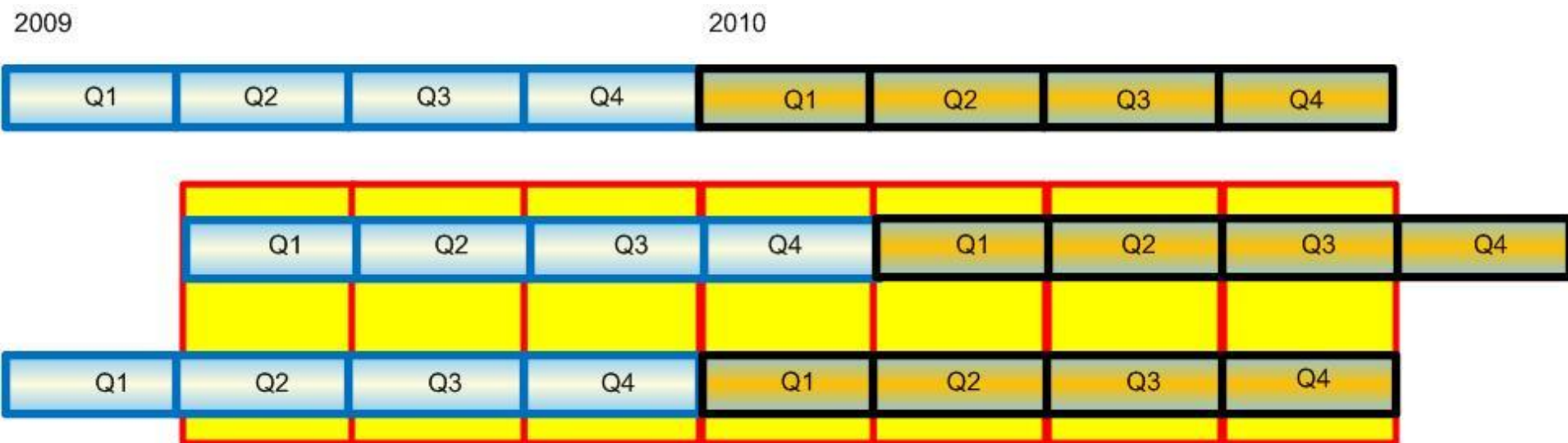


Az autókoreláció értéke

A vizsgált jel

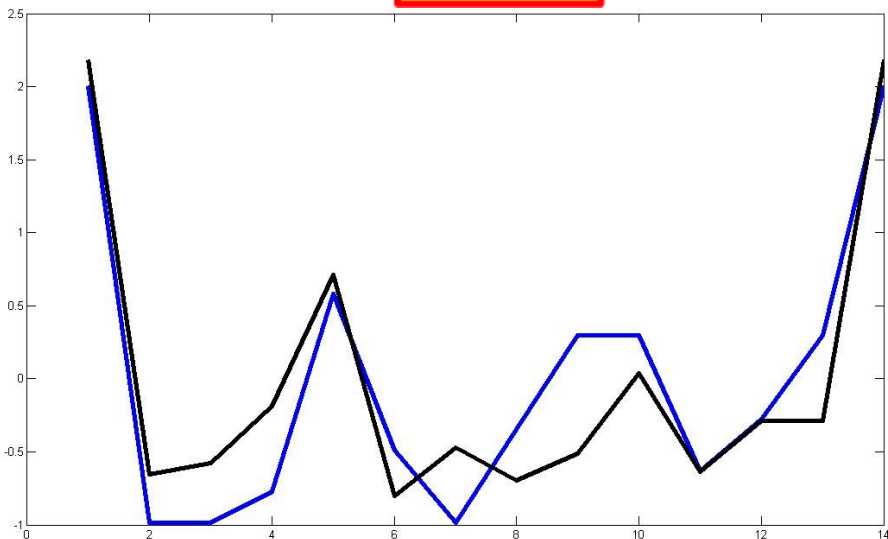
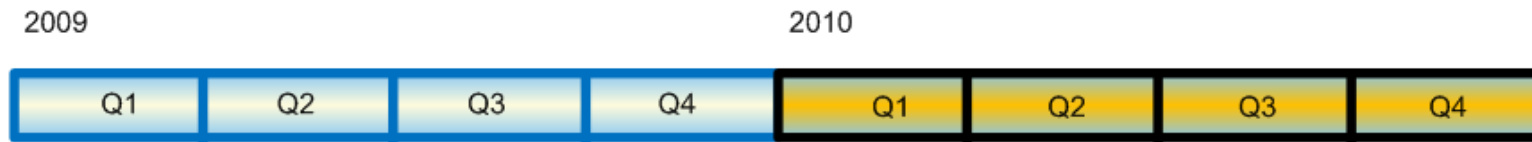
Az a jel, amit kivágtunk és folyamatosan toljuk el

Megrendelési dinamika „önhasonlósága”



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

Megrendelési dinamika „nyugodt negyedév”

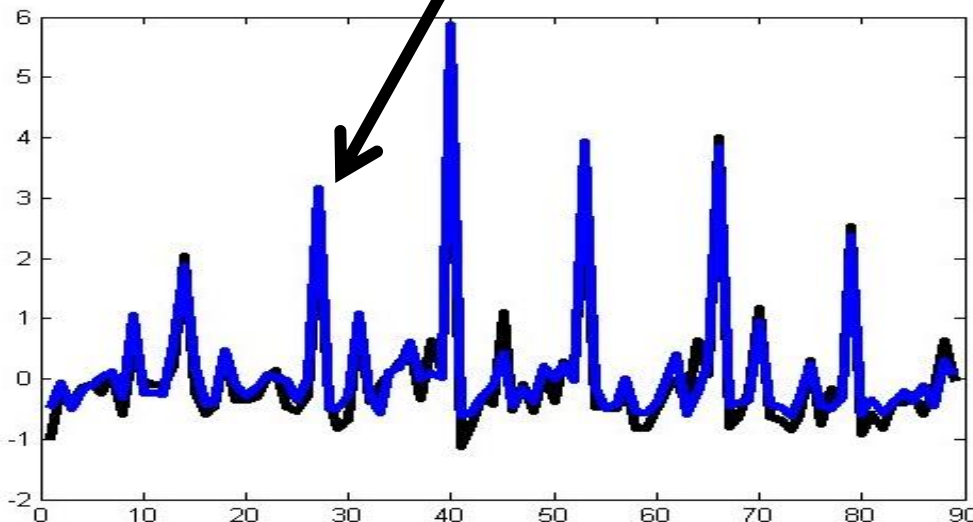
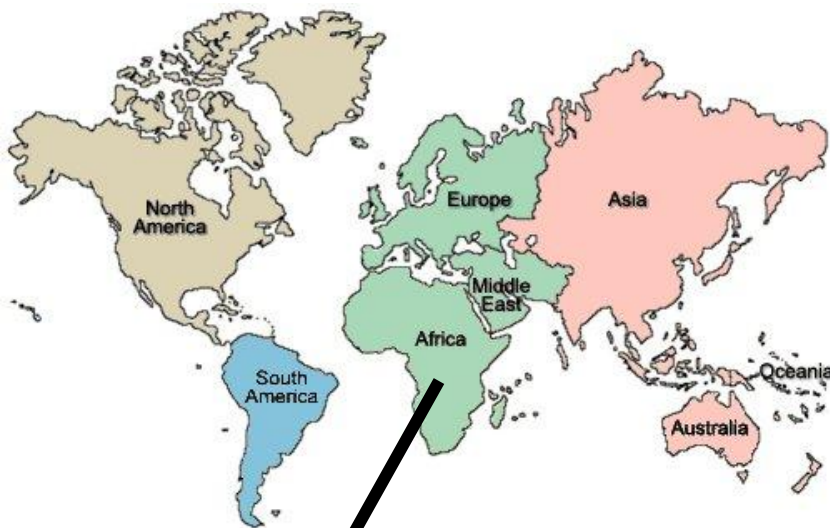


- Dinamika stabilitása?
 - Ha nincs jelentős hatás (pl. új termékcsalád)
- 2009 Q3-2010 Q3 korreláció: 0.848
- Nyugodt negyedévben azonos a megrendelés dinamikája -> jósolható!

A közvélemény kutatók 1000 főt megkérdezve...

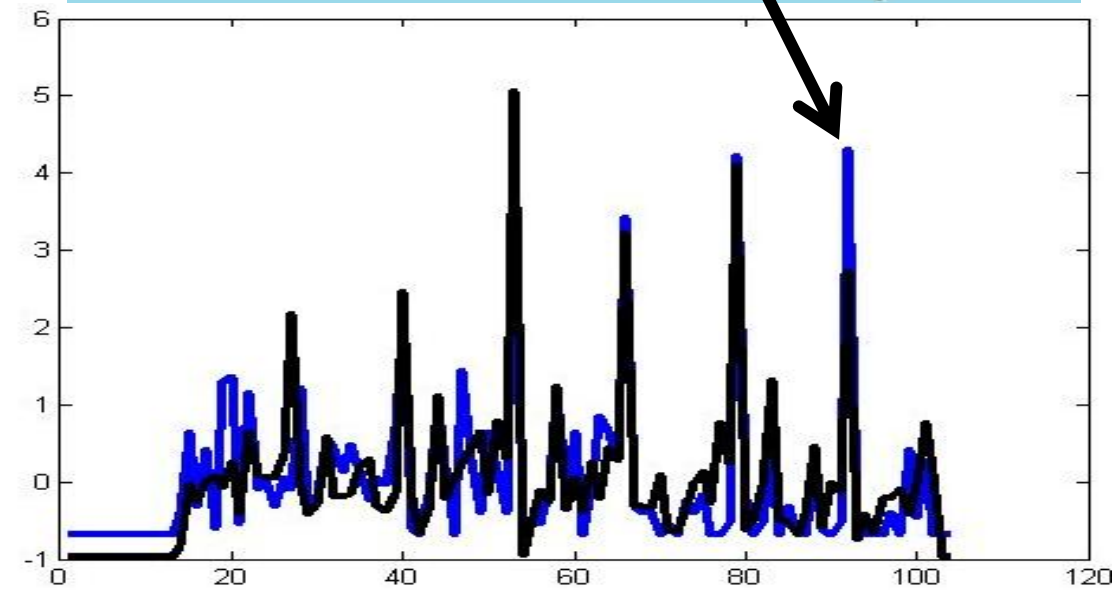
A SOK FAKTORBÓL MIT KELL FIGYELNI ÉS MILYEN GYAKRAN?

A régiók hatása a megrendelésekre



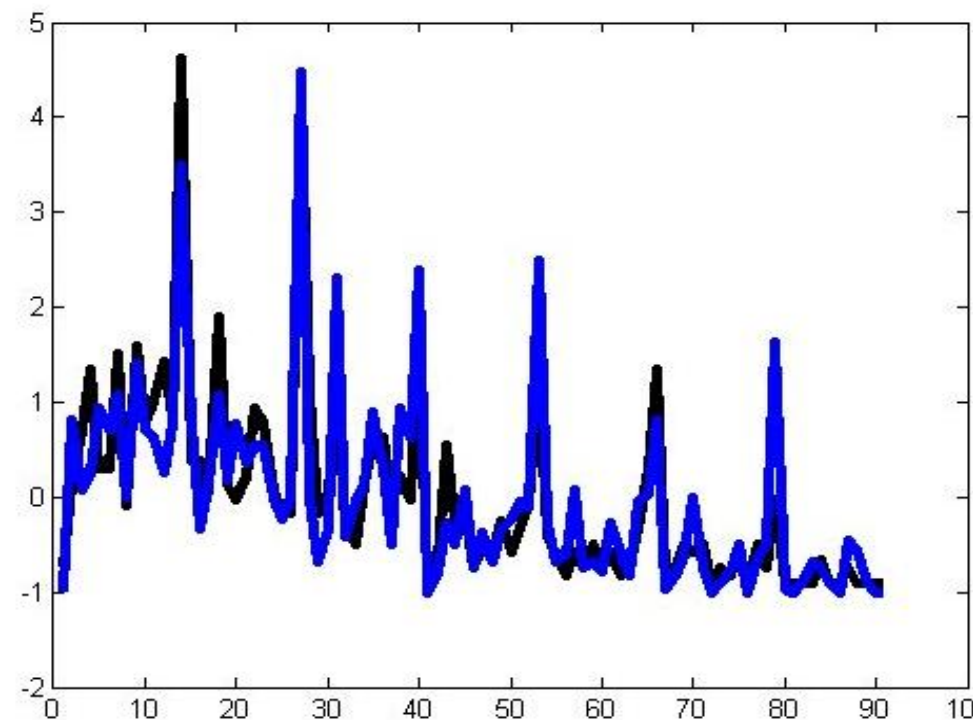
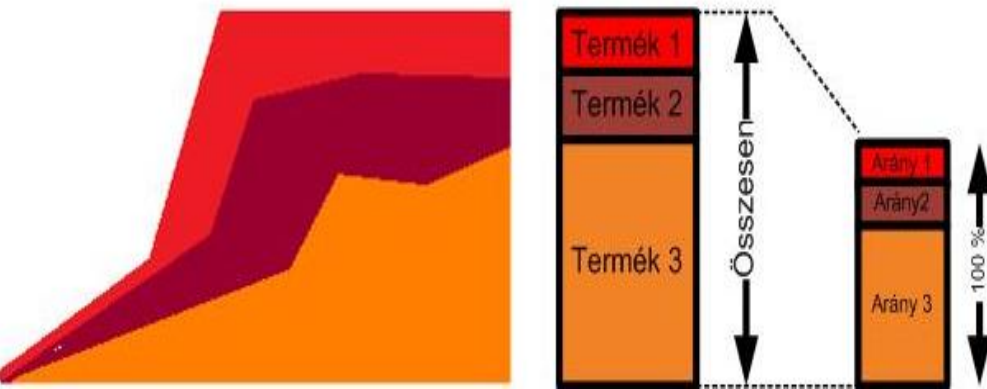
- Regionális trendek?
 - Kisebbségi régió: azonos dinamika, mint a teljes rendszer
- EMEA és globális megrendelések közötti korreláció: 0.99
- Azonos trendek -> kisebb régiók adataiból lehet az egészre következtetni!

Az országok korrelációja a rendelésekkel



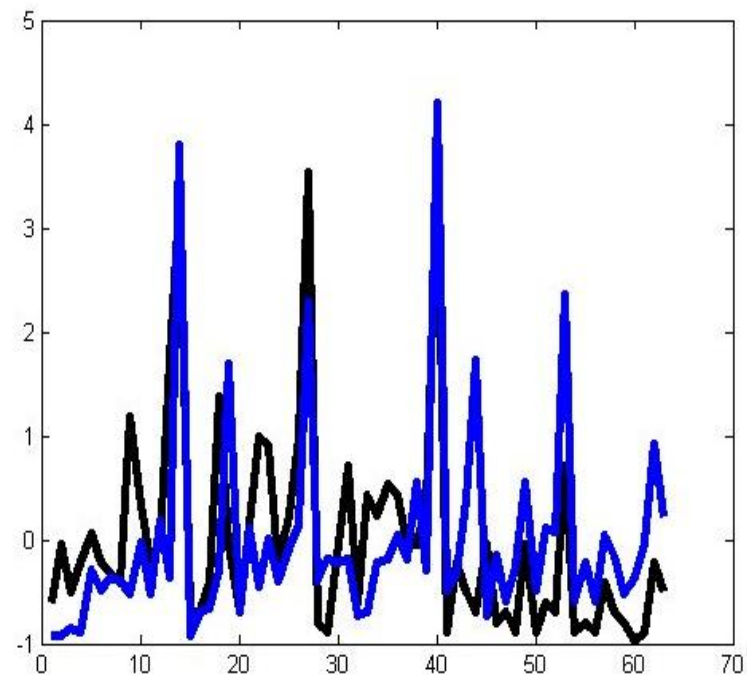
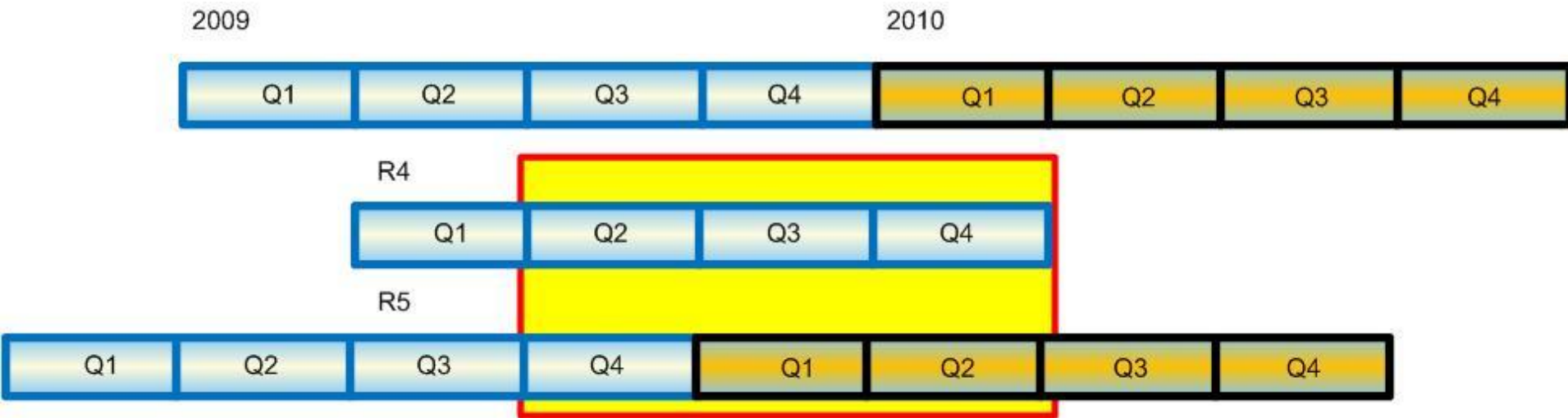
- Országok trendje?
 - Releváns államok globális trendeket adják vissza
- Németország és a globális rendelések közötti korreláció: 0.82
- Azonos trendek -> fontosabb országok adataiból lehet az egészre jósolni!

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



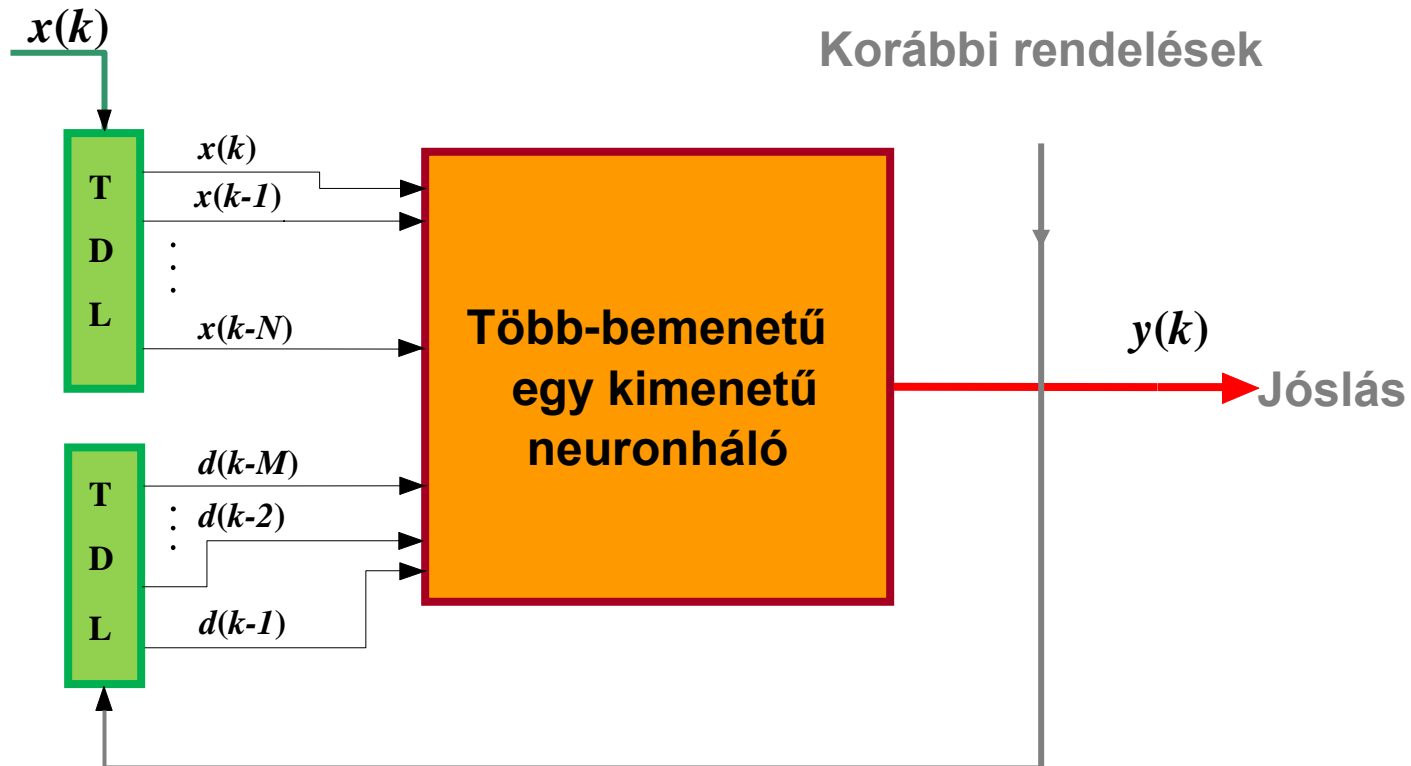
- Generációk hasonló trendjei
 - Fél év eltolást felhasználva
- R4 2009 Q2-Q4 és R5 2009 Q3 – 2010 Q1 közötti korreláció: 0.65
- Különböző generációk azonos viselkedést mutatnak!

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

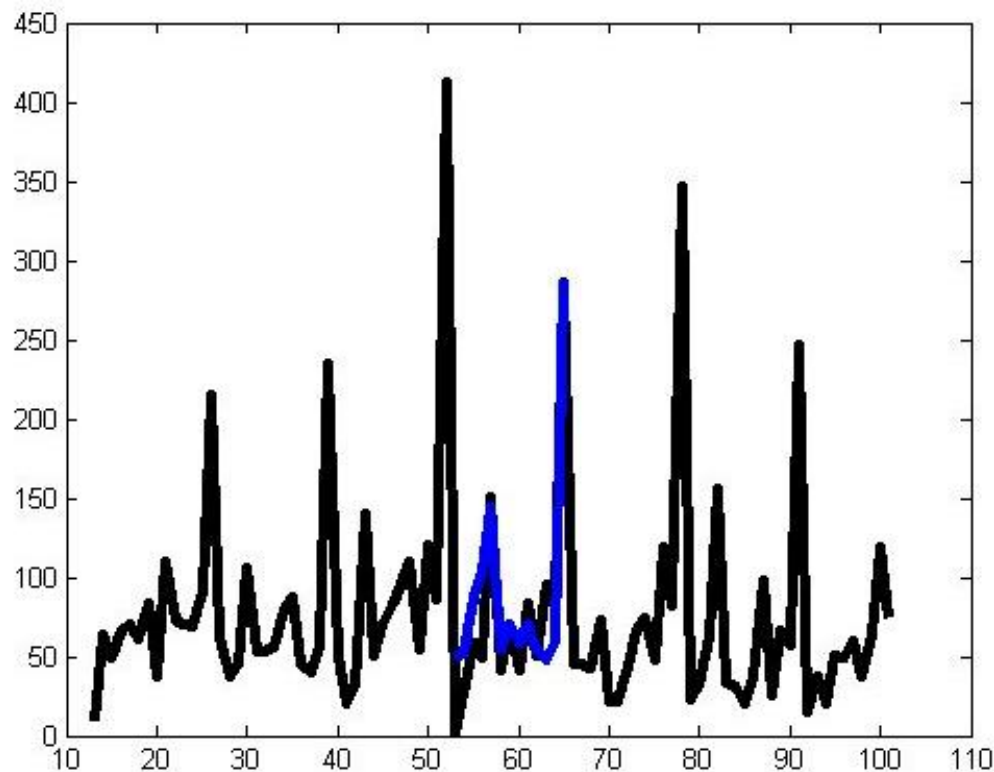
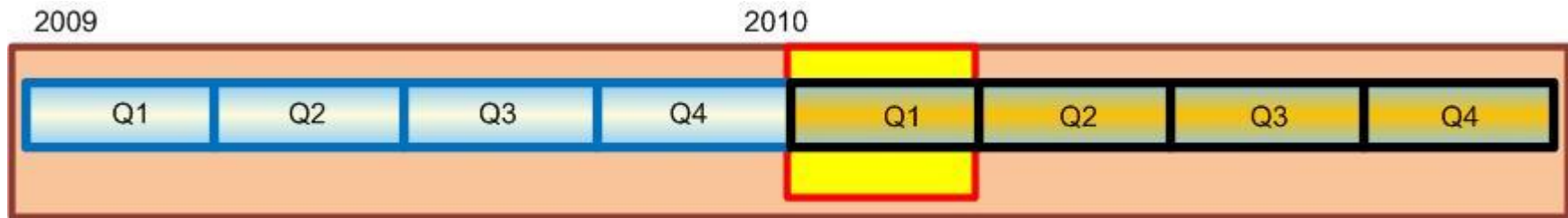
A PREDIKTOR MEGHATÁROZÁSA

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 OPL code, and the Outline view on the right shows the model's structure.

```

i
  /*****
  * 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 following 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:

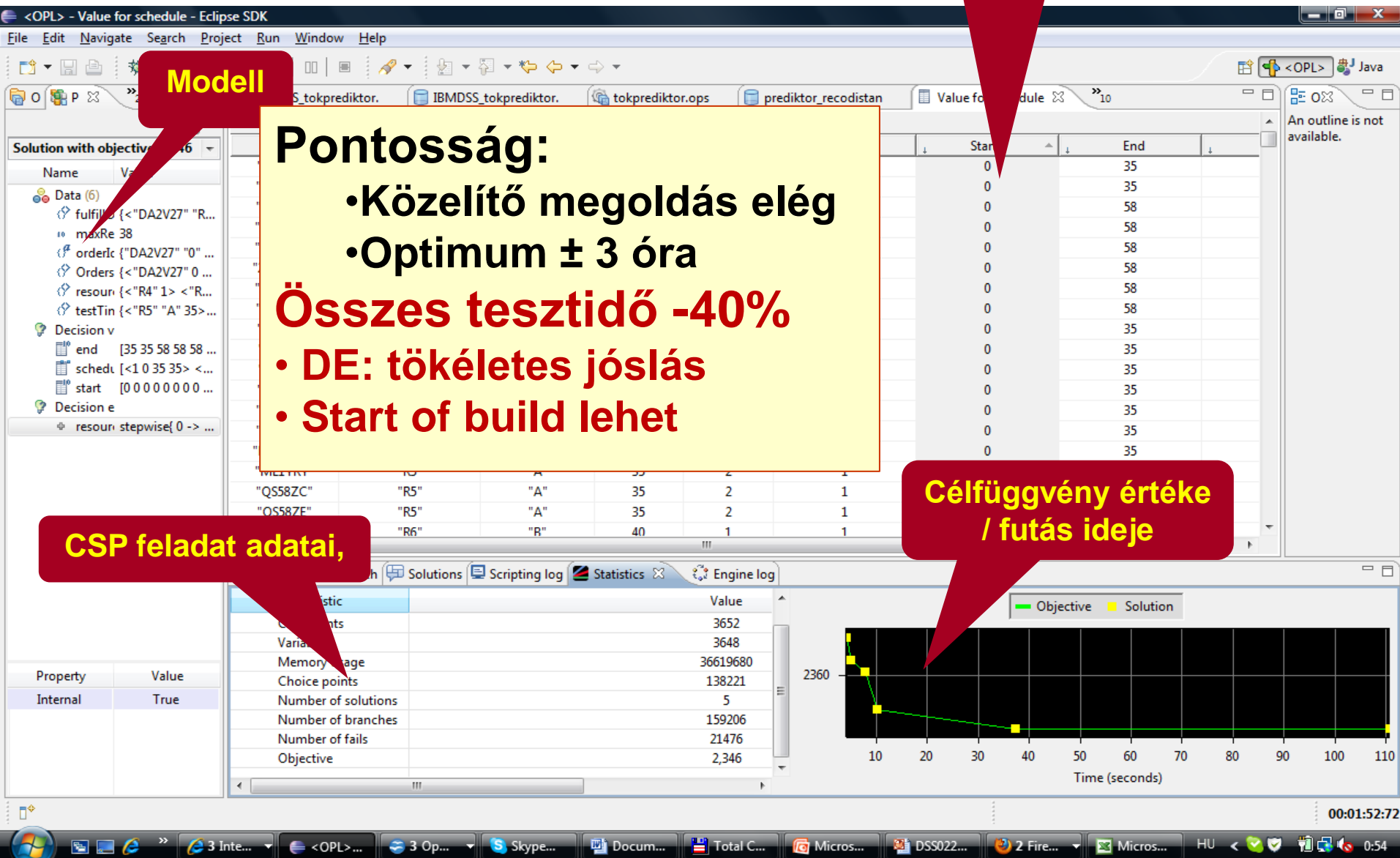
- Közelítő megoldás elég
- Optimum ± 3 óra

Összes tesztidő -40%

- DE: tökéletes jóslás
- Start of build lehet

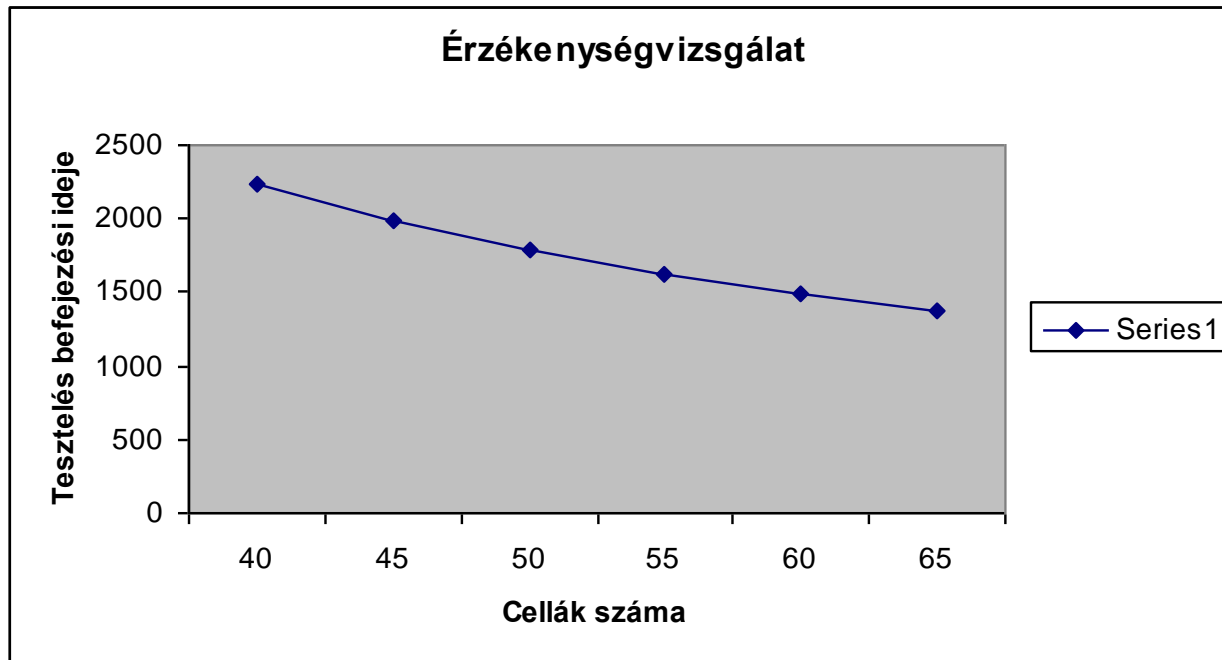
CSP feladat adatai,

Célfüggvény értéke / futás ideje



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

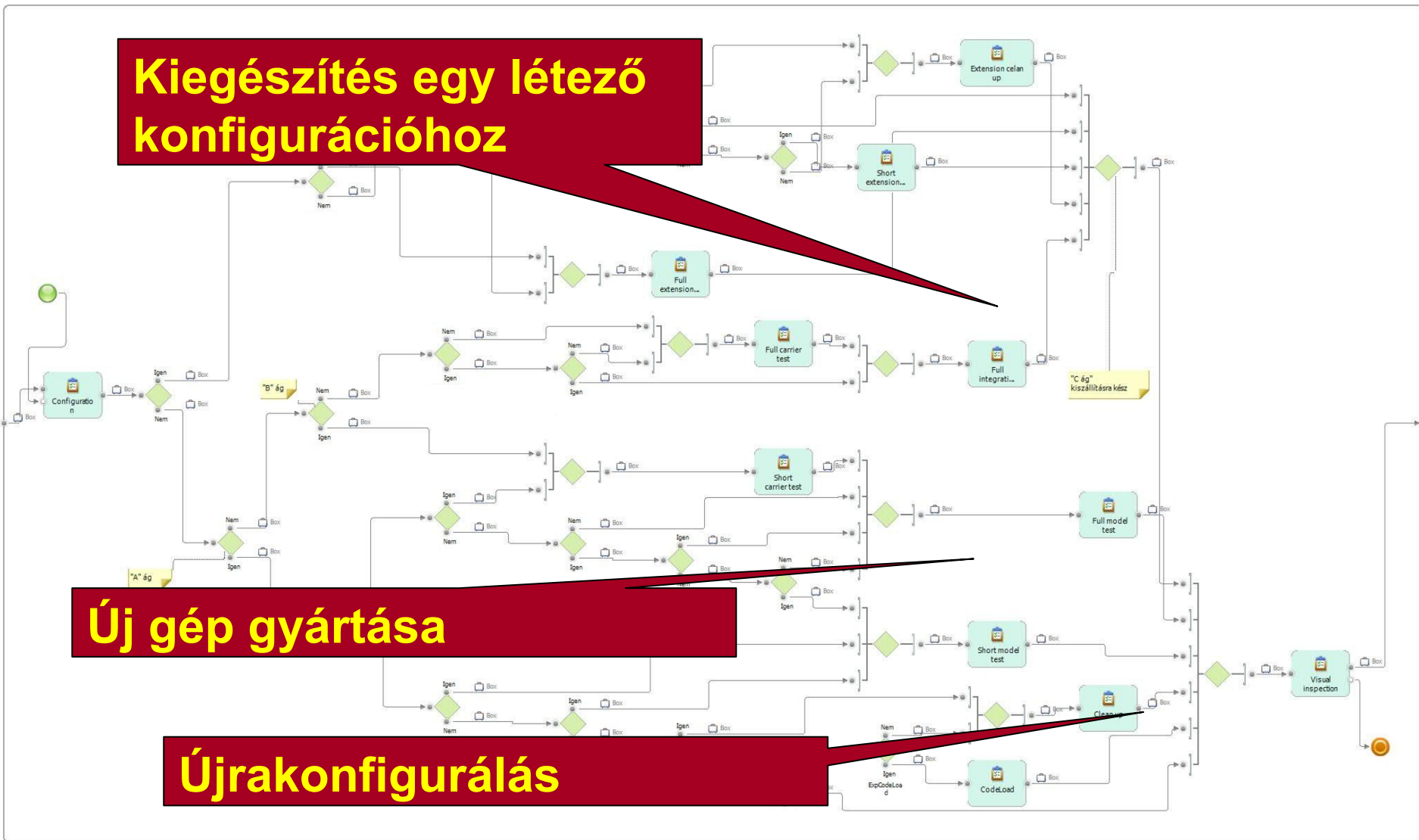
SZIMULÁCIÓ

Példa folyamat – tesztelési lépések

Kiegészítés egy létező konfigurációhoz

Új gép gyártása

Újrakonfigurálás



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?

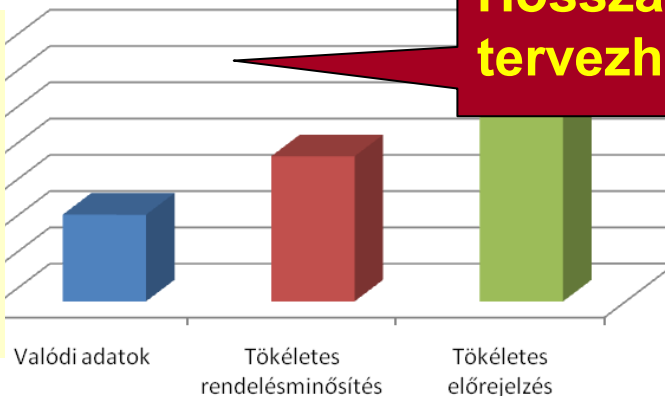
Kapacitástervezés

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

Jóslás és predikció hatása

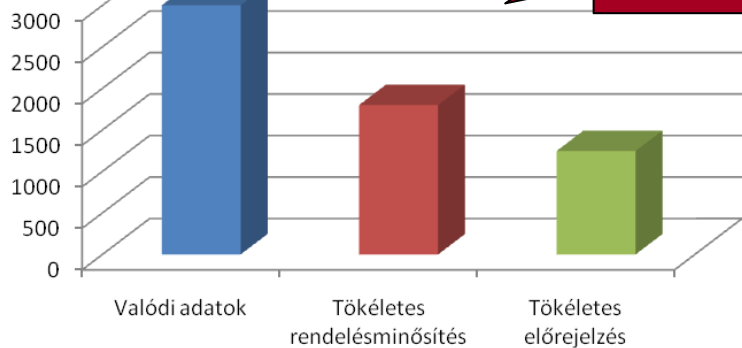
Néhányszor 10%-os költségmegtakarítást hozhat a predikció és az optimalizálás

Átlagos tesztelési idő



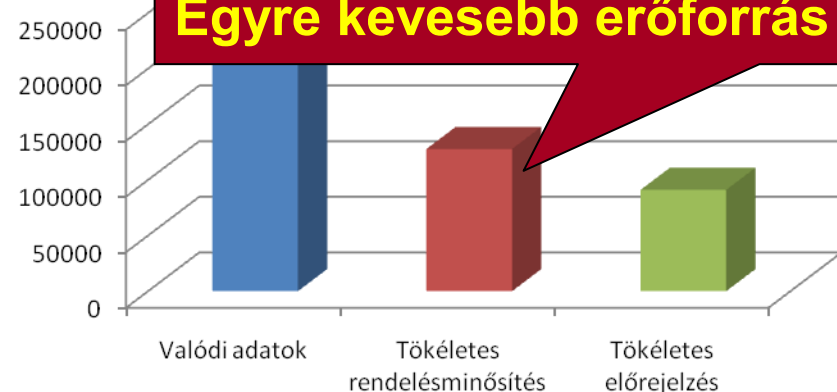
Hosszabb, egyenletes tesztek, tervezhetőség

Tesztesetek száma



Tesztesetek száma csökken

Összes tesztelési idő

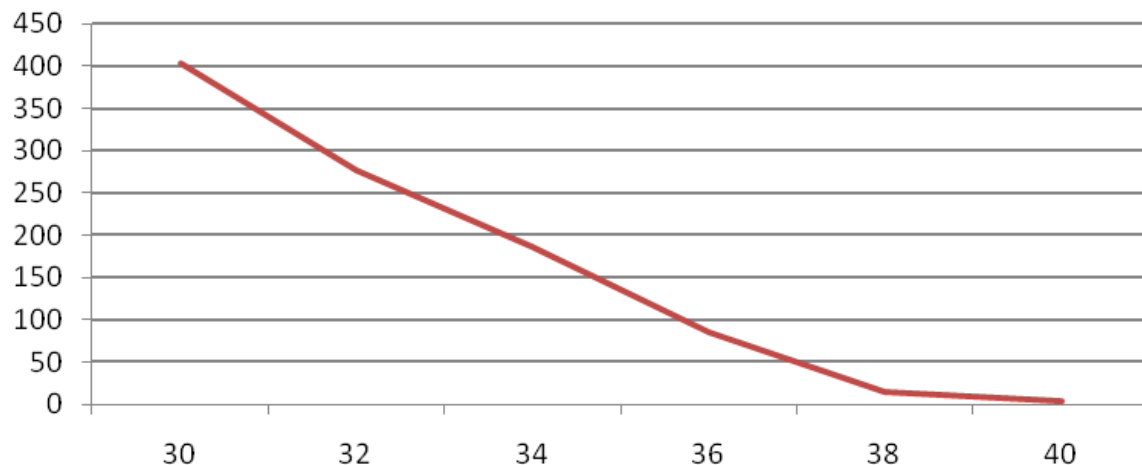


Egyre kevesebb erőforrás

Erőforrások szerepe

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

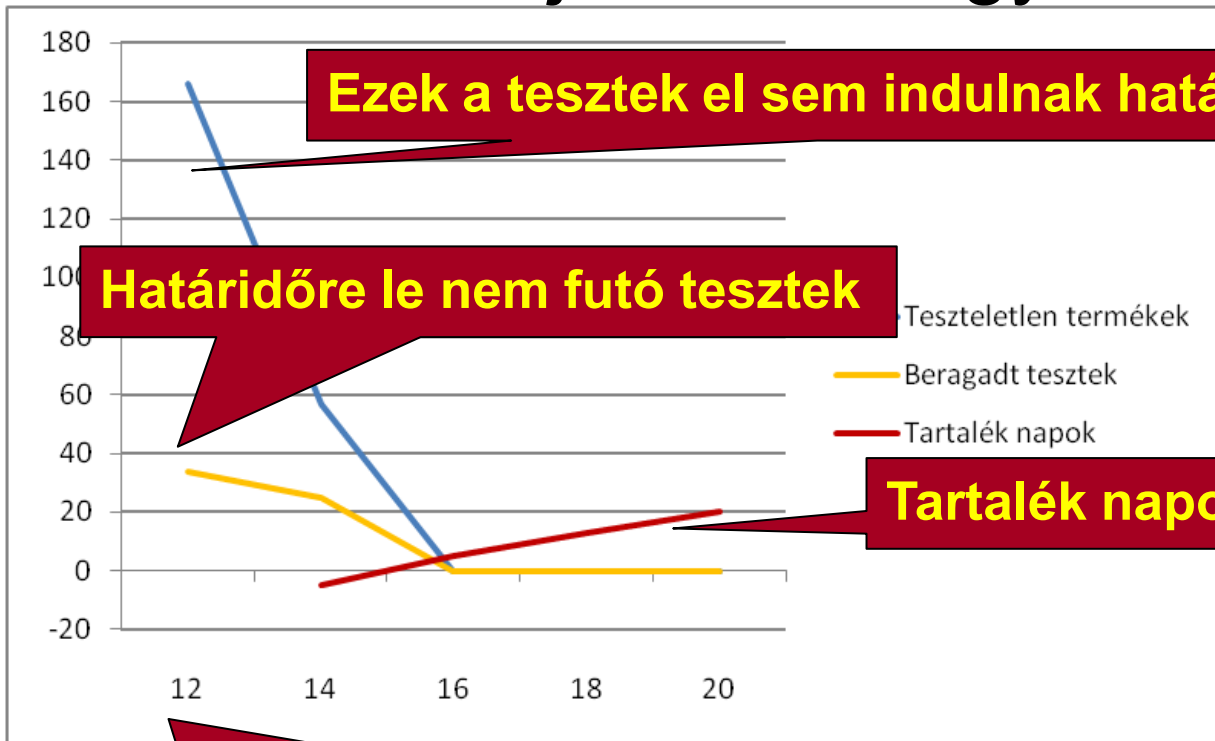
Átlagos várakozási idő az erőforrások függvényében



- 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

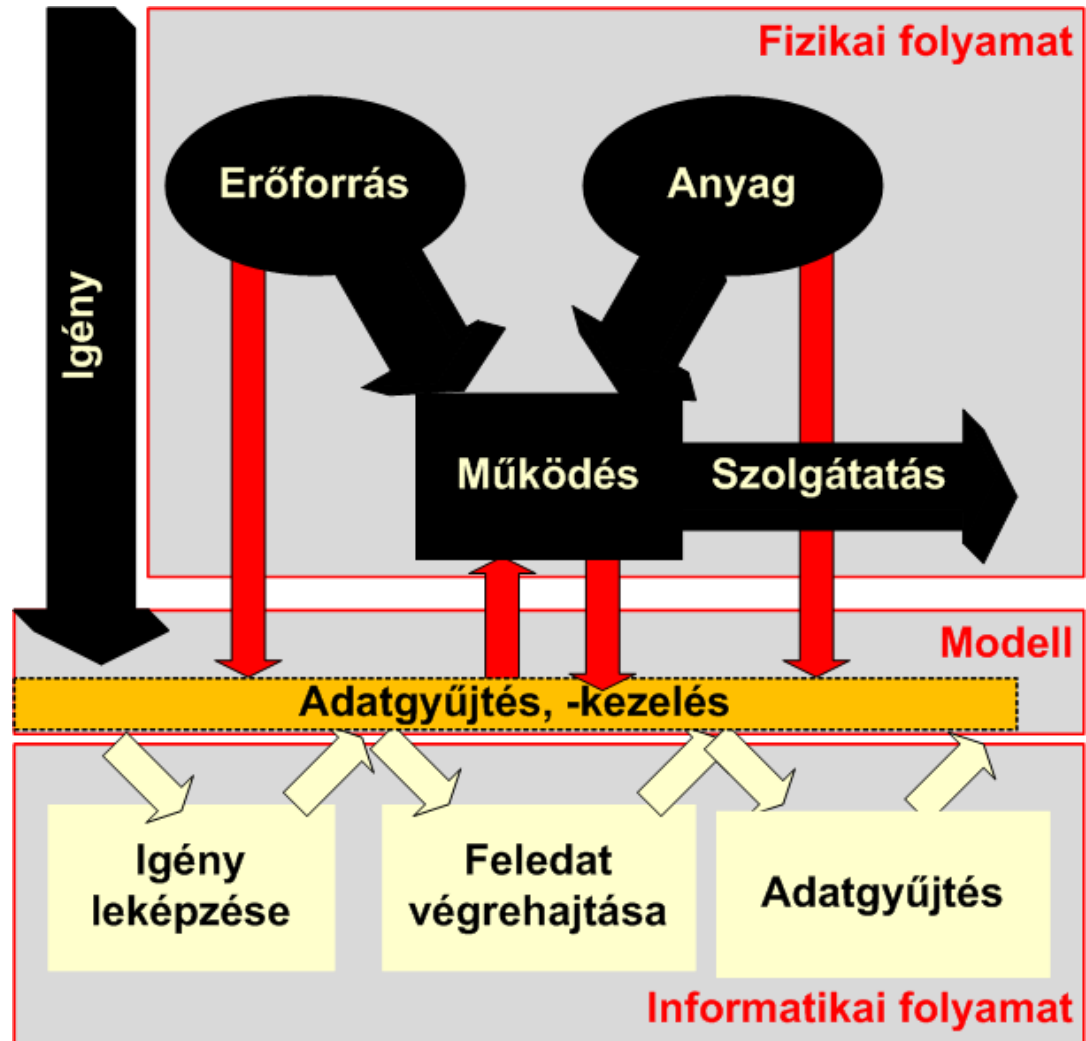
**A leghatékonyabb megtakarítás,
ha észsel él az ember**

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**