



Tervezés AspenTech programokkal bioetanol gyártás és biofinomítás témában

Dr. Fehér Csaba

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Budapest, 2018



Előadásanyag, számonkérés

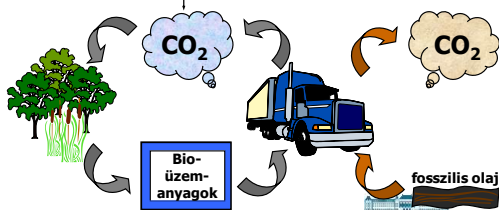
- Előadás dia a honlapon elérhető lesz, felkészülést segítő kérdések (friss)
- Első előadás: anyag ismertetés, második előadás: konzultációs óra, feladatok, felkészítő kérdések átbeszélése
- zh: 5 kérdés (10 pont), melyre rövid válaszokat várok, lehet benne egyszerű számpélda is



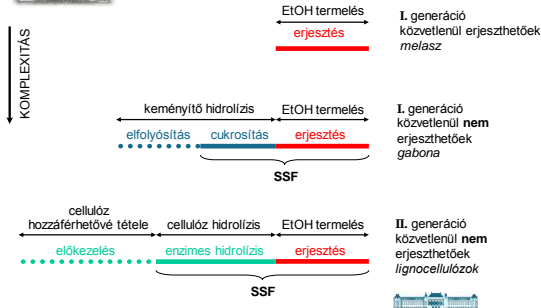
Alkoholgyártás, upstream műveletek áttekintés

Bioetanol, CO₂ körforgás

A legnagyobb mennyiségben termelődő üvegházhatású gáz a széndioxid, ami bio- és fosszilis üzemanyagokból is keletkezik, de a bio-üzemanyagok esetében a széndioxid ciklus **zárt**.

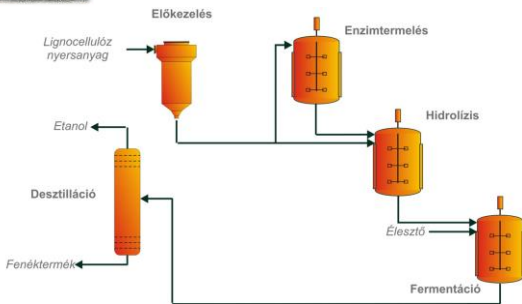


Alkoholgyártás, upstream műveletek áttekintés



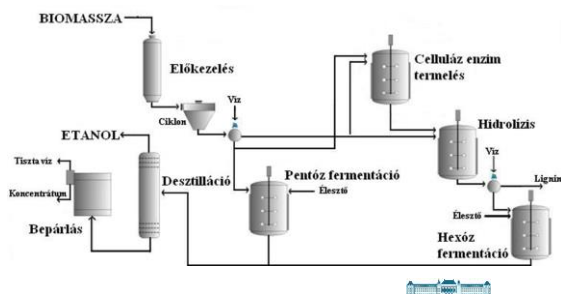
Alkoholgyártás, upstream műveletek áttekintés

Első generációs folyamat, melléktermékek, biofinomítás



Alkoholgyártás, upstream műveletek áttekintés

Első generációs folyamat, melléktermékek, biofinomítás





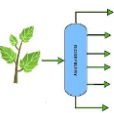
Project Alpha Crescentino Proesa™ Market Sustainability Me



Crescentino, Észak-Olaszország
Lignocellulóz alapú bioetanolgyár
(az első ipari léptékű üzem)
40 000 tonna bioetanol évente
Ünnepélyes megnyitó: 2013. 10. 09.



Biofinomítás



- Most of the chemical products used in the industry are derived from fossil resources.
- The replacement of fossil resources in the production of chemicals can be solved only by biomass utilization.



Biofinomítás

Biorefinery

is defined by the IEA Bioenergy Task 42 (International Energy Agency, 2009) as the sustainable processing of biomass into a wild spectrum of bio-based products (food, feed, chemicals and/or materials) and bioenergy (biofuels, power and/or heat). Biorefinery is a facility (or a cluster of facilities) that integrates biomass conversion processes and equipment to produce transportation biofuels, power, chemicals and materials from biomass.

Biomass:

organic materials produced by the growth of microorganisms, plants and animals.

BiOrefinery:

utilize BIOMass by using green (sustainable?) technologies. (biotechnology)

- Feedstocks, processes, platforms and building block chemicals, products

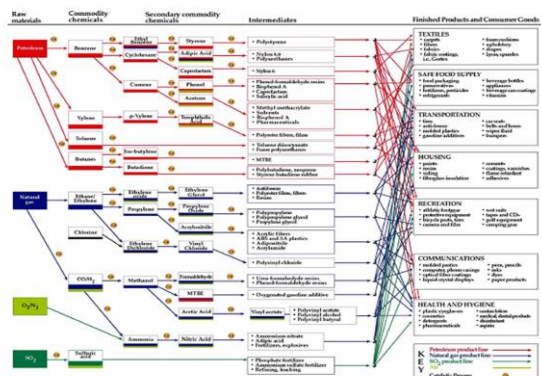


Figure 2 – An Example of a Flow-Chart for Products from Petroleum-based Feedstocks

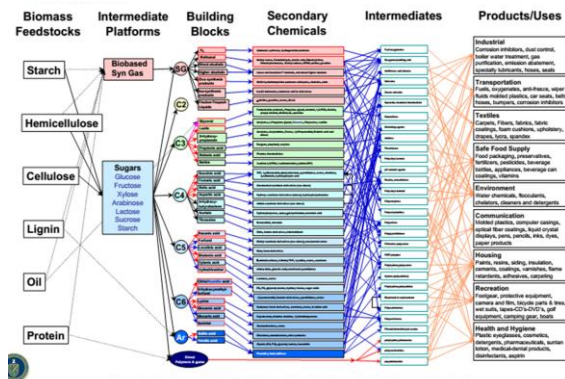
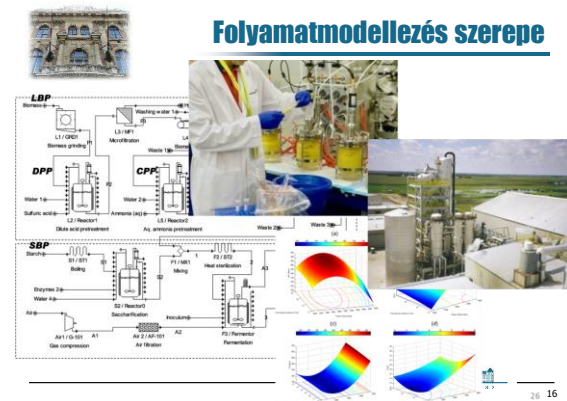
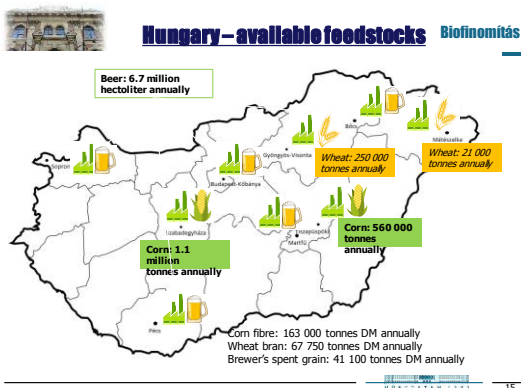
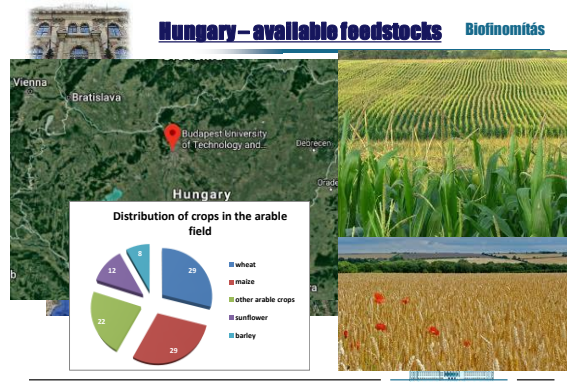
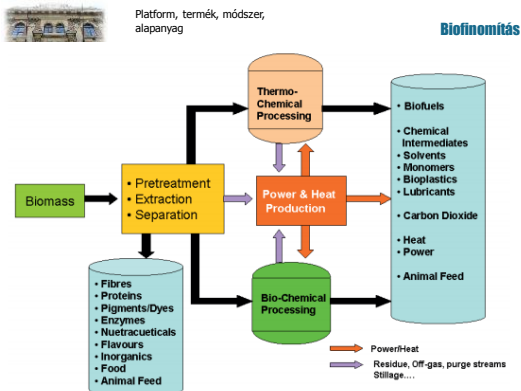
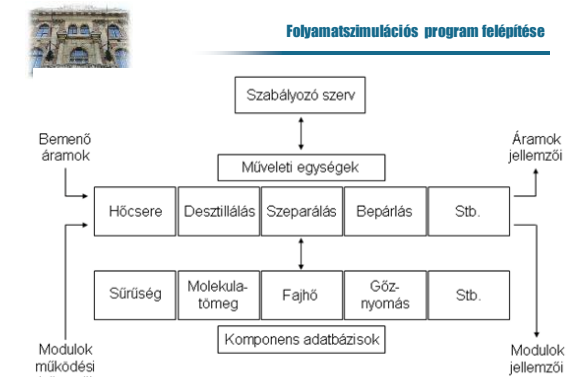


Figure 3 – Analogous Model of a Bio-based Product flow-chart for Biomass Feedstocks



- A technológiai-gazdaságossági elemzés eszközei**
- **Aspen Plus**
 - Folyamatmodell, anyag- és energiamérleg megoldása
 - Előnye:
 - nagy komponens adatbázis (elsődleges a megfizethető eredményekhez)
 - gőz-folyadék fázisegyensúlyok pontos modellezése (pl. desztillálásnál fontos)
 - Hiányosságai:
 - Nem tud pH-t számolni, és fermentációs területre egyáltalán nem specializált (a SuperPro Designerrel szemben)
 - **Aspen HX-net / Aspen Energy Analyzer**
 - Hőintegráció, a hőcserélő hálózat optimalizálása
 - **Aspen Icarus / Aspen Economic Analyzer**
 - Méretezés
 - Beruházási költség becslése





Mit várhatunk egy technológiai-gazdaságossági tanulmánytól?

- ÖSSZEHASONLÍTHATÓ ESETEK
- Energiaigény, energiahatékonyság
- Gazdaságossági paraméterek:
 - éves költségek, bevételek, profit
 - előállítási költség adott termékre
 - megtérülési idő



A gazdaságossági rész sokkal bizonytalanabb, mint a technológiai

Mi szükséges egy jó technológiai-gazdaságossági tanulmányhoz?

- Megbízható kísérleti eredmények
- Ökölszabályok alkalmazása
- Konzervatív feltételezések



Miért fontos a folyamattervezés?

•Kísérleteket az egyes lépésekre végzünk, azonban fontos a lépések közötti lehetséges kölcsönhatások (integráció) vizsgálata is

- visszaforgatás
- ezzel a vízigény csökkenthető

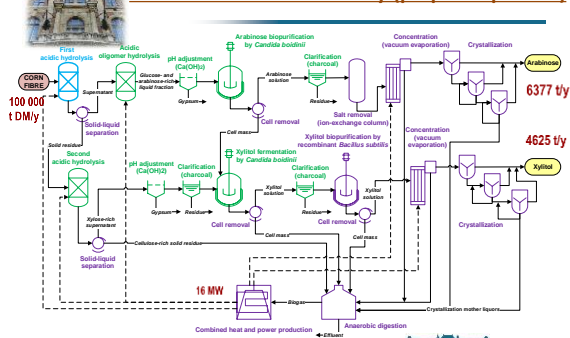
- hőintegráció
- egy anyagáram fűtése úgy történik, hogy közben egy másik anyagáram hűl, így a hőigény csökkenthető

•Komplex folyamatoknál nagyon sokféle elrendezés (folyamatkonfiguráció) képzelhető el, ezért célszerű folyamattervező szoftver használata

•A technológiai modell az alapja a gazdaságossági számításoknak is



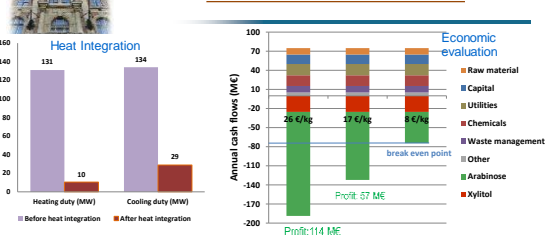
Corn-fibre-based biorefinery (proposed process)



Process steps that are modelled based on laboratory exp. Process steps that are modelled based on literature data



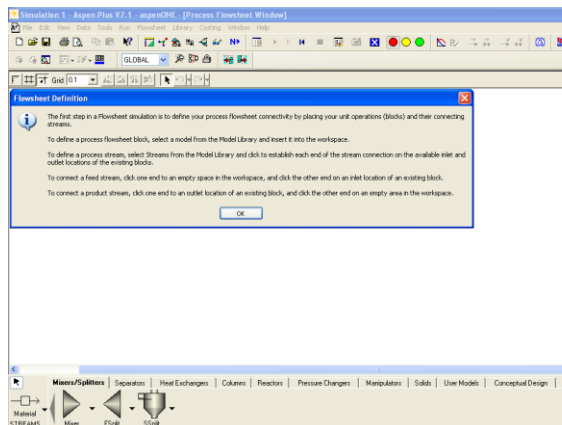
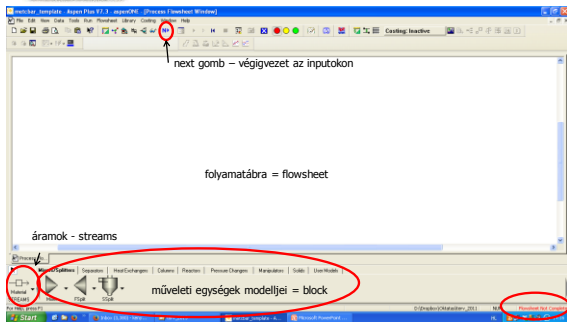
Techno-economic evaluation



- Process simulation: Aspen Plus V8.0, Heat integration: Aspen Energy Analyzer V8.0, Economic evaluation: Aspen Process Economic Analyzer V8.0 (Aspen Tech. Cambridge) and vendor quotation.
- After heat integration the proposed biorefinery process can satisfy its own heat demand.
- Assumed prices: corn fibre: 100 €/tonne DM, xylose: 6 000 €/tonne.
- Break even point requires an arabinose price of 8 €/kg.



Aspen Plus



BLOCK ELHELYEZÉSE

•Heater – a hőcsere egyik oldala érdekes, és az ahhoz szükséges teljesítmény

•HeatX – a hőcsere hőideg és meleg oldala is (2 belépési, 2 kilépési pont) megbonyolítja a számolást → kerüljük a használatát

Belépő áram bekötése

Kilépő áram bekötése

Lépésenként (műveletenként) célszerű haladni, mert így könnyebb a hibakeresés

Ez azt jelzi, hogy a flowsheet kapcsolatai rendezben vannak, az inputok hiányoznak

Setup Data Browser

a proszakat ki kell tölteni

Global settings:

- Input data: ZSOLTI
- Run type: Fullbatch
- Input mode: Process stream
- Stream class: **FLUIDITY**
- Flow basis: Mass
- Units of measurement: TON/HR
- Pressure: bar
- Valid phases: LIQ
- Free water: No
- Operational year: 2010

•Mass-ra állítjuk (tömegáramokat használunk)

•Légköri nyomás: 1,01325 bar, de az egyszerűség kedvéért az előadásban 1 bar-nak veszem

Components Specifications Data Browser

Component ID-nál írjuk be angolul a komponents nevét akkor ismeri fel, ha mind a 4 oszlopot kitölti

Vagy Find-dal megkereshetjük

Component ID	Type	Component name	Alias
WATER	Conventional	WATER	H2O
SEUCO2E	Conventional	SEUCO2E	SEUCO2E-F

Properties Specifications Data Browser

Interaktív súgó a módszerválasztáshoz

NRTL: Non-Random Two Liquid biotechnológiai modelleknl (vizes közeg) ezt használják

NRTL: Flowsheet with liquid gas and Henry's law: Uses record set of binary parameters

Bélpé (1-es) áram specifikáció

összetétel megadása tömegárral

a kilepő (2-es) áramot nem szabad kitölteni, azt a B1 block specifikációja alapján számolja a program a szimuláció futtatása során

Bélpé (1-es) áram specifikáció

összetétel megadása a komponensek tömegárával

(B1 jelű) hőcserélő specifikáció

kilepő hőmérséklet megadása

Let us type the outlet temperature for help

(B1 jelű) hőcserélő specifikáció

nyomás: az érték > 0, kilepő nyomást adunk meg
az érték = 0, nincs nyomásesés
az érték < 0, nyomásesést adunk meg

Let us type the pressure. Absolute units; outlet pressure if value > 0; pressure drop if value < 0. Gauge units; outlet pressure for all values. See Help

Futtatható a szimuláció

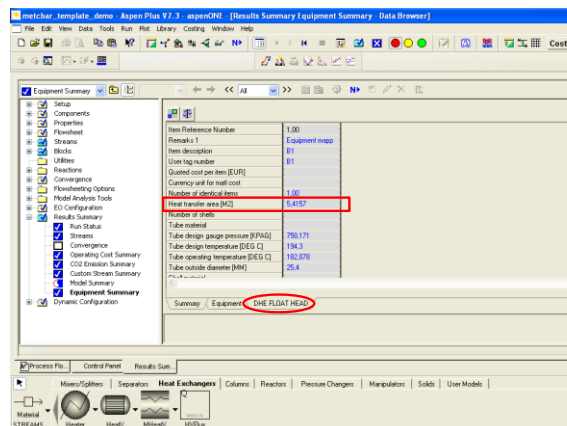
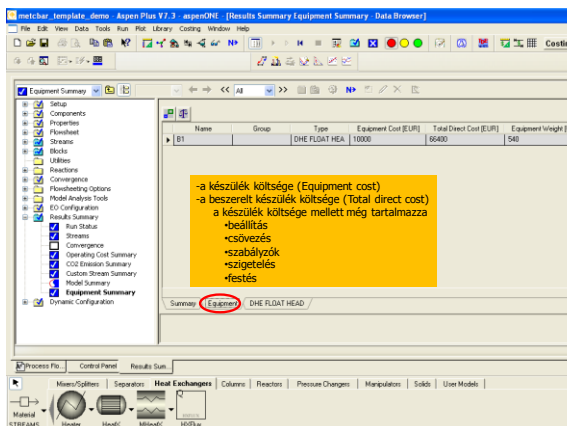
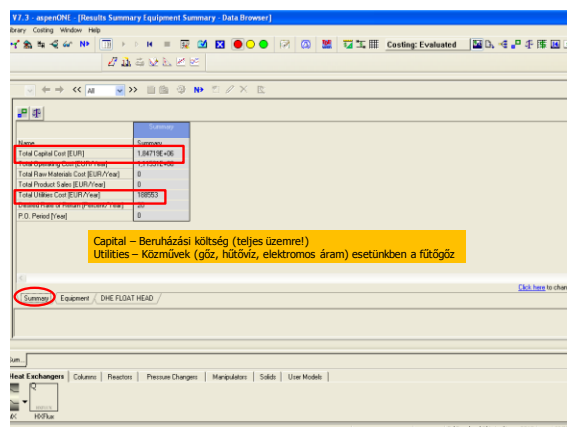
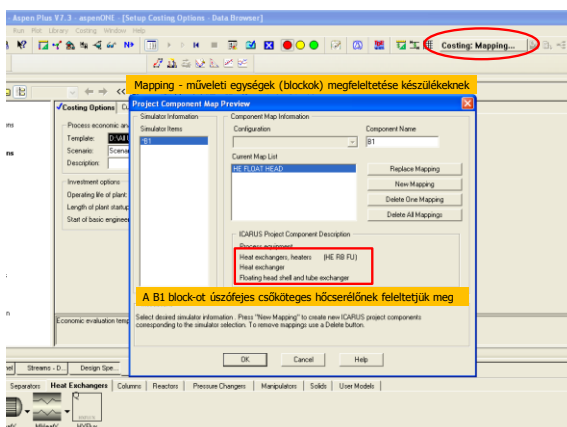
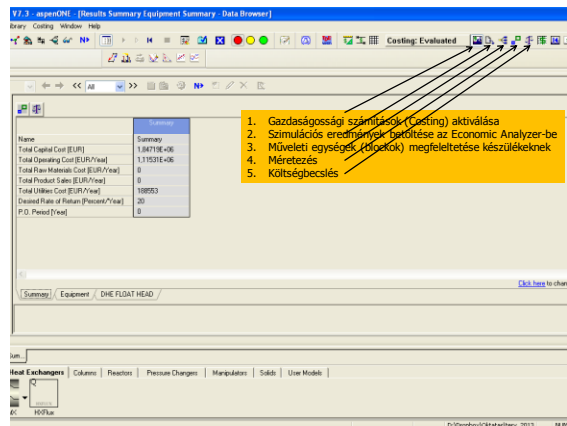
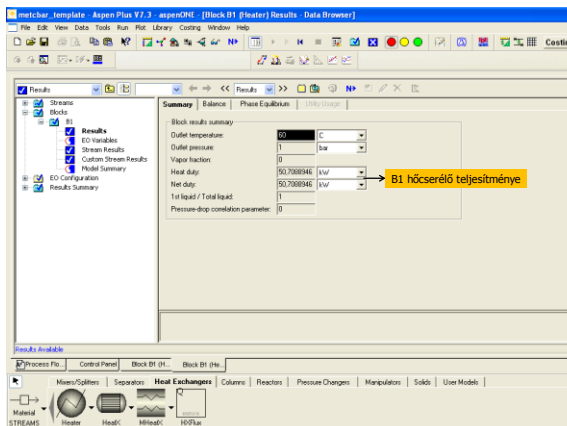
Required Input Complete

Run

Flowsheet eredmények

Temperature (C)
Pressure (bar)
Mass Flow Rate (kg/hr)

Results available

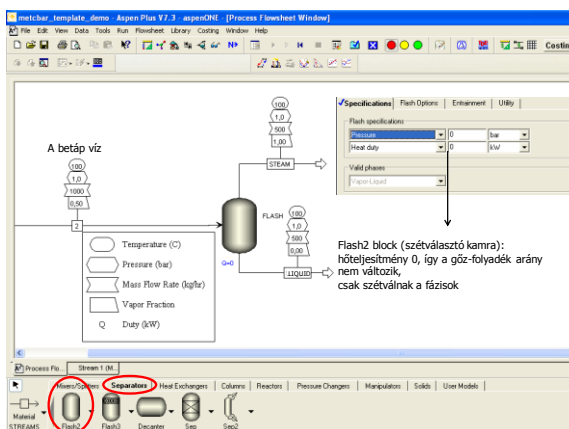
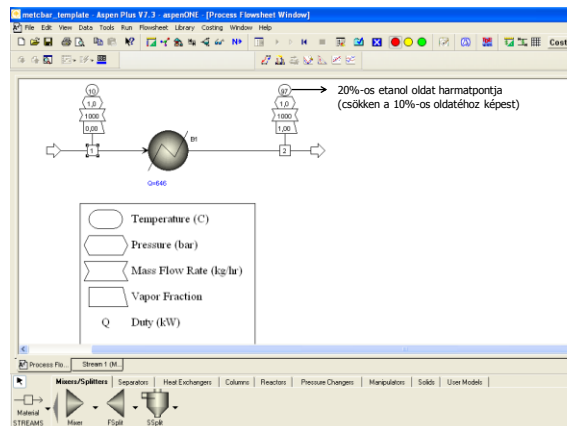
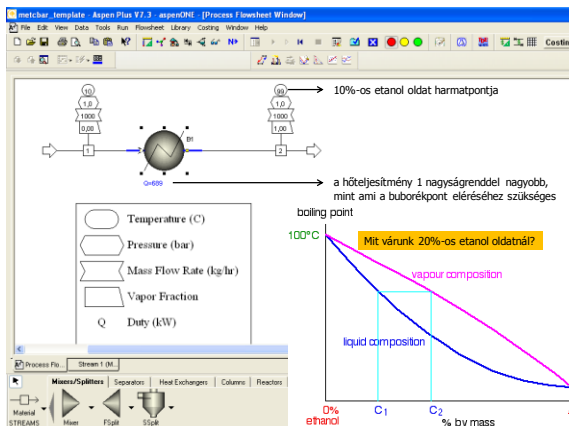




- Mekkora hőcserélő teljesítmény szükséges 1000 kg/h, 10%-os etanol oldat buborékpontra és harmatpontra történő melegítéséhez légköri nyomáson?
- 10% konvencionálisan tömegszázalékot jelent
- buborékpont?
- harmatpont?

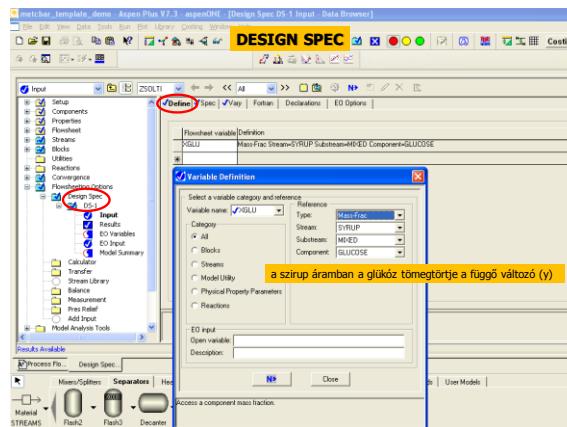
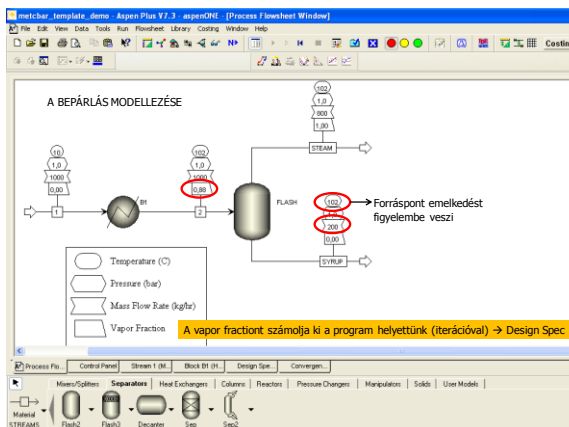


Component ID	Type	Component name	Alias
WATER	Conventional	WATER	H2O
GLUCOSE	Conventional	GLUCOSE	CBH10DE1
ETHANOL	Conventional	ETHANOL	CHHO-2



Bepárlás

- Bepárlás: 10°C-os, 1000 kg/h, 10%-os glükóz oldat bepárlása 50%-osra légköri nyomáson
- Nincs bepárló block
- Helyette: hőcserélő + flash2 block kombinálása
- Számolás vapor fraction alapján
- 100 kg/h glükóz mellett 100 kg/h víz lesz a szirupban
800 kg/h vizet kell elpárologtatni a kiindulási 900 kg/h-ból csak a víz válik gőzzé → $800/900 = 0,88$ a vapor fraction



Design specification expression:
 Spec: FGLU
 Target: 0.5
 Tolerance: 0.01

a glükóz tömegfrójtja 0,5
 a tolerancia abszolút, azaz megengedünk 0,499 és 0,501 közötti értékeket

Manipulated variable:
 Block: B1
 Variable: VFRAC
 Sentence: FARAC

A B1 hőserőiben a vapor fraction a független változó (x) értéke 0 és 1 között változhat az iteráció során

0,8 vapor frójtiont állítva be a B1-ben, a szimuláció során a Design Spec áttájtja 0,88-ra



Fermentor modellezése – etanoleresztés

- Reaktor + ...
 - Légtörri nyomáson etanol képződik
 - Egy reakció: glükóz → 2 etanol + 2 CO₂
 - 90% az etanol hozam → a glükóz-etanol konverzió 90%
 - Exoterm a reakció és állandó hőmérsékletet (30°C) tartunk → el kell vonni a hőt hűtővízzel
 - Az élesztő fth. immobilizált (ritka, de van rá példa)
- ... + szeparátor
 - A gázvezetés modellezésére



Stóchiometrikus reaktor, és ismertek a konverziók

Component ID	Type	Component name	Formula
BIOGLUC	Conventional	BIOGLUCSE	C6H12O6
E1	Conventional	ETHANOL	C2H5OH
E2	Conventional	ETHANOL	C2H5O2
WATER	Conventional	WATER	H2O

Új komponens (CO₂) definiálása

Reaktor kiájtási hőmérséklet

Left Stoichiometry

Component	Coefficient	Products	Component	Coefficient
GLUCOSE	1	ETHANOL	2	

A sztöchiometriai együtthatók mászóakra vonatkoznak
A(z egyik) reakciós átalakulásának mértéke

ennek akkor van jelentősége, ha több reakció van, és az egyikben képződő termék, köztüktermék, azaz továbbreagál pl. szacharóz hidrolízise glükózzá és fruktózá, majd a glükózból és fruktózból etanol lesz

Heat of Reaction

Ref. No.	Reference component	Heat of reaction	Reference Temperature	Reference Pressure	Reference Phase
1	GLUCOSE	0	300	101.325	Liquid

A szimuláció során számolja a reakcióhőt

Reaction Results

Run No.	Reaction	Heat of reaction	Reference component	Stoichiometry
1	GLUCOSE -> 2 ETHANOL	-92000	GLUCOSE	GLUCOSE -> 2 ETHANOL

Jó egyezés az irodalmi értékkel (-92 000 kJ/kmol) -> elfogadjuk

Temperature (C)
Pressure (bar)
Mass Flow Rate (kg/hr)
Vapor Fraction
Duty (kW)

•Miért lett 0,01 a vapor fraction légköri nyomáson és 30°C-on?
•CO₂ miatt -> a fermentornak van gázvezetése, az RSTOIC blocknak viszont nincs

A gázvezetés modellezése kompenzarseparátorral

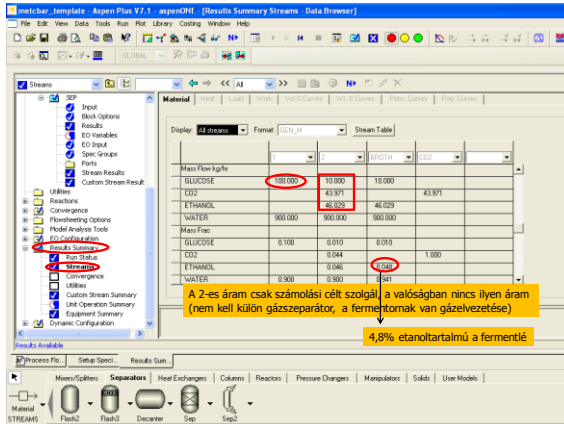
Component separator. Separates components based on specified flows or split fractions.

Specifications

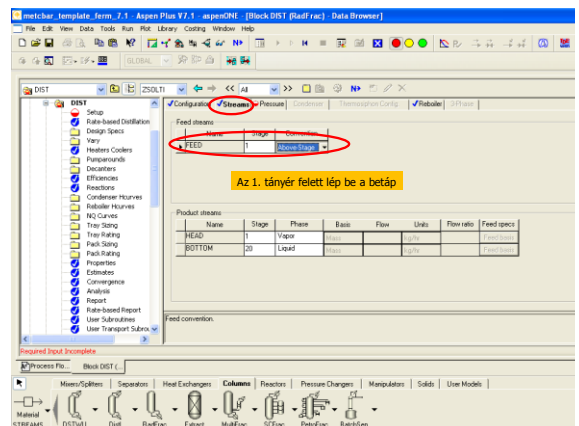
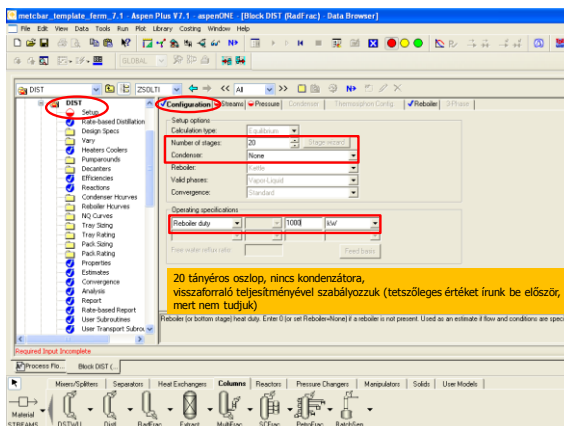
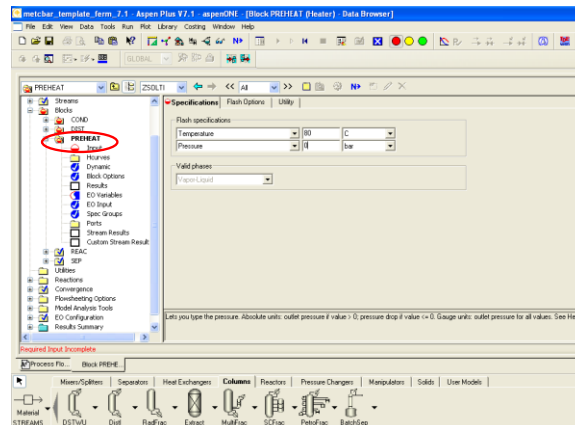
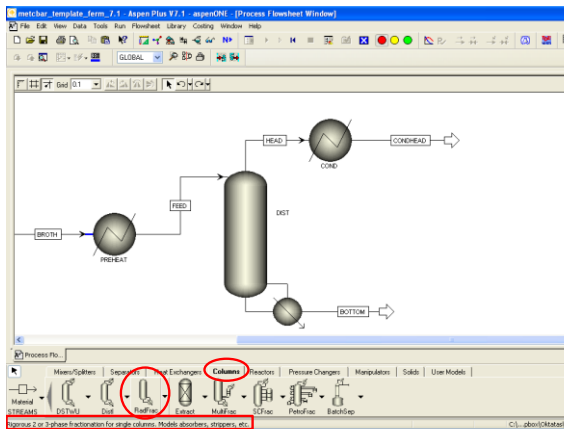
Component ID	Specification	Basis	Value	Units
GLUCOSE	Split fraction	0		
ETHANOL	Split fraction	0		
WATER	Split fraction	0		

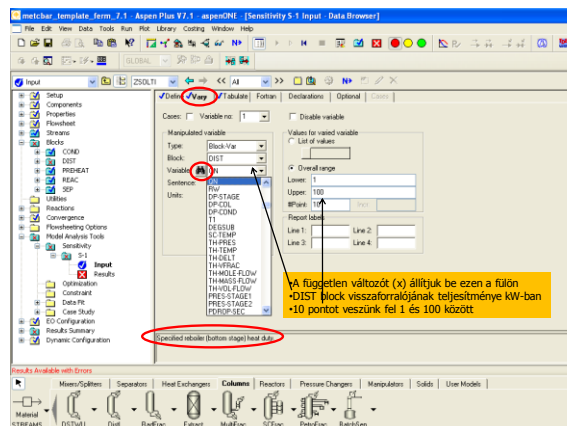
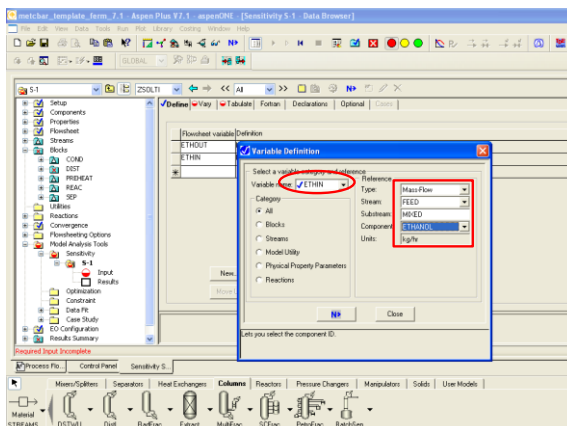
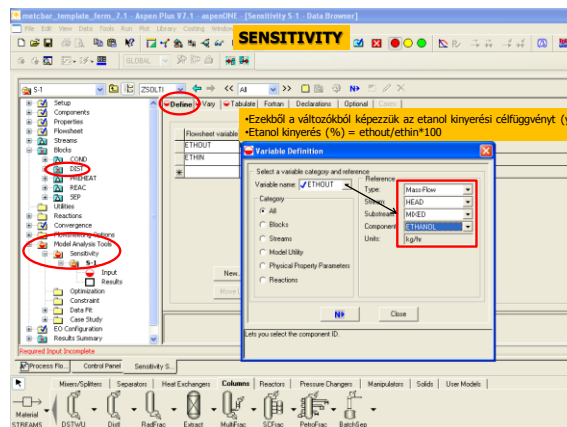
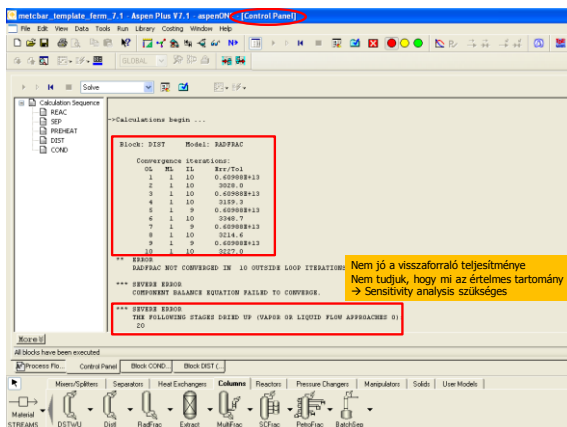
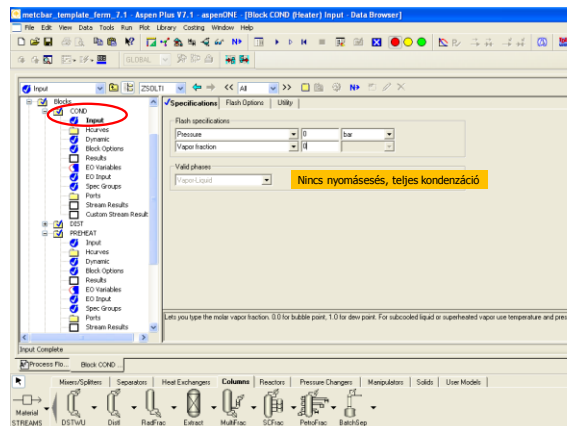
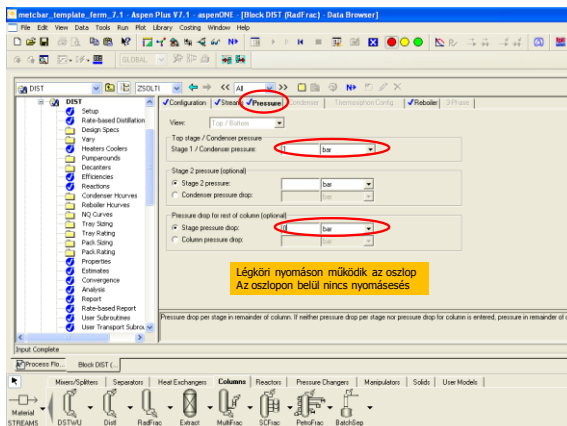
A CO₂ áramba a blockba érkező komponens ennyid része kerül (csak a CO₂, viszont az teljes mértékben)

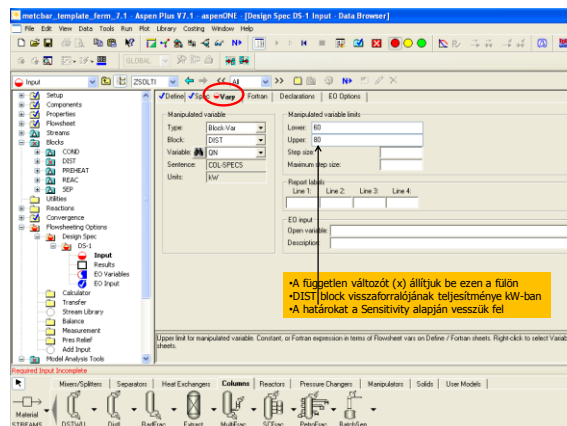
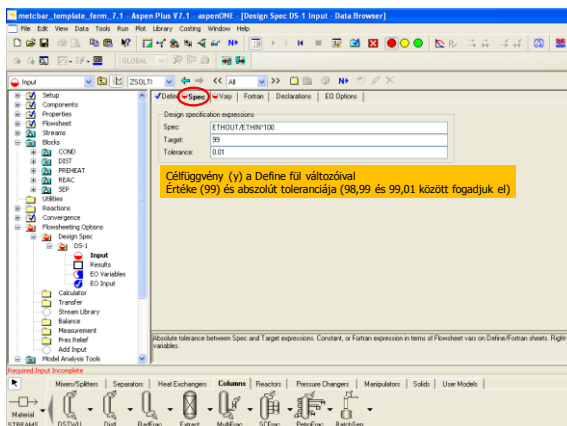
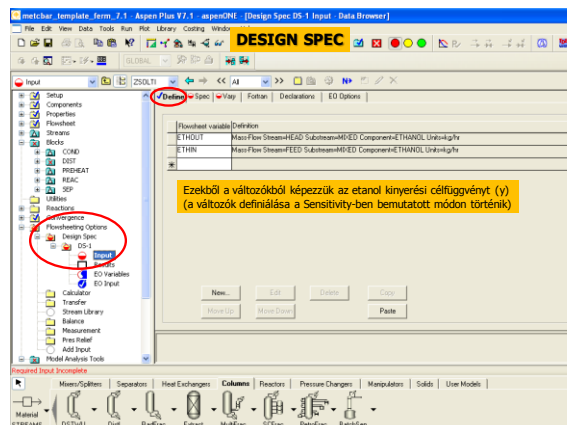
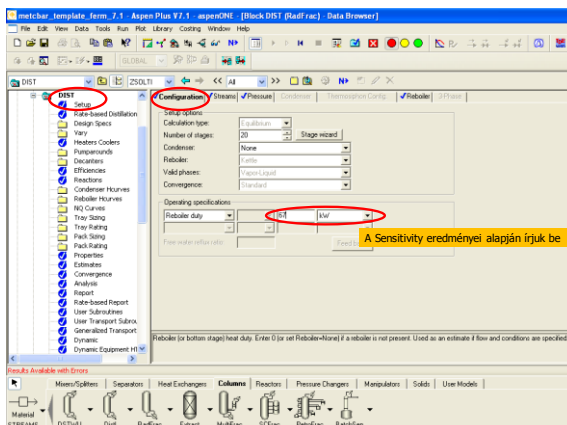
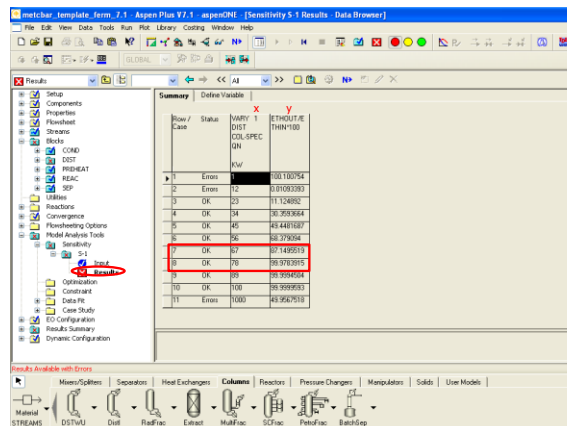
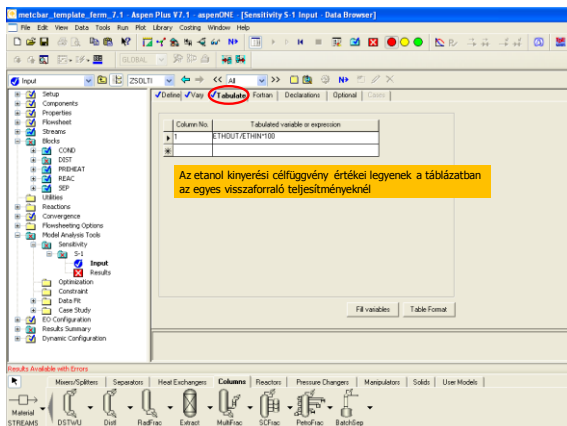
Nyersszesz előállítása



- Desztillációval
 - Léggőri nyomáson
 - 20 tányéros oszlop
 - Nincs kondenzátora
 - A 80°C-ra előmelegített fermenté (BROTH) az első tányérra érkezik, és gőzt vezetünk el fejtermékként, amelyet később külön hőcserélőben kondenzátunk
 - Etanol kinyerés: 99%, azaz a kiindulási etanol mennyiség 99%-át kapjuk a fejtermék áramban
 - Az etanol kinyerést a visszaforráló teljesítményével szabályozzuk
- Érzékenységi vizsgálat (Sensitivity analysis) a megfelelő visszaforráló teljesítménytartomány megállapítására
- Design specifikáció a visszaforráló teljesítményérték beállítására







Reboiler / Bottom stage performance

Temperature	98.03290	C
Reboiler duty	74129475	W
Bottom rate	48.2014837	kmol/hr
Boilup rate	6.5293292	kmol/hr
Boilup rate	0.1420724	kmol/hr

A Design Spec állítja az oszlop visszaforrásjának teljesítményét úgy, hogy az etanol kinyerés célfüggvény a megadott értéket (99%±0.01%) vegye fel (az oszlop újputában 67 kW-ot adunk meg)

Component split fractions in product streams

Component	HEAD	BOTTOM
GLUCOSE	2.00E-18	
E-TANOL	0.0355734	0.0100426
WATER	0.0728463	0.3073037

Az etanol kinyerés 98.996%

Display: Steam Table

Enthalpy	Molar	COND	BOTTOM
COND	-3.442	-0.382	-3.116
Mass Flow (kg/hr)			
GLUCOSE	10.000	TRACE	10.000
E-TANOL	48.029	48.566	0.482
WATER	800.000	85.425	834.575
Mass Frc			
GLUCOSE	0.010	TRACE	0.012
E-TANOL	0.048	0.011	547.899
WATER	0.941	0.959	0.980
Mass Flow (kmol/hr)			

A glükóz teljes egészében a fenéktérkébe (BOTTOM) kerül, ahol 1,2% a koncentrációja. A fejtermék nyersszesz (HEAD) 41% etanolt tartalmaz.

Hűtőintegráció: COND (meleg oldal) - PREHEAT (hideg oldal), ellenáram célserű

Temperature (C)
Pressure (bar)
Mass Flow Rate (kg/hr)
Vapor Fraction
Q Duty (kW)

A DESZTILLÁLÓ OSZLOP KÖLTSÉGBECSLÉSE

Két készülék tevének a DIST block esetén
1. oszlop
2. visszaforráló

Component Map Information

Configuration	Standard - Total	Component Name	DIST tower
Current Map List	RB U-TUBE	New Mapping	
		Delete One Mapping	
		Delete All Mapping	

ICARUS Praxist Component Description
Process Assesment
Tower: single diameter
Tayed tower

Component Map Information

Configuration	Standard - Total	Component Name	DIST tower
Current Map List	U-TUBE	New Mapping	
		Delete One Mapping	
		Delete All Mapping	

ICARUS Praxist Component Description
Process Assesment
Heat exchangers, heaters (HE RB PU)
Reboiler
U-tube kettle type reboiler

Name	Group	Type	Equipment Cost (EUR)	Total Owner Cost (EUR)	Equipment Weight (kg)
DIST-veb		DRB U TUBE	11600	59900	330
DIST-fesze		DTW TRAYED	79000	227900	10300

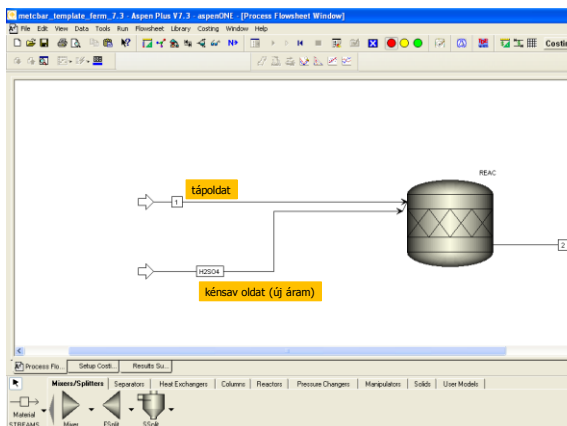
Name	Group	Type	Equipment Cost (EUR)	Total Owner Cost (EUR)	Equipment Weight (kg)
DIST-veb		DRB U TUBE	11600	59900	330
DIST-fesze		DTW TRAYED	79000	227900	10300

Name	Group	Type	Equipment Cost (EUR)	Total Owner Cost (EUR)	Equipment Weight (kg)
DIST-fesze		DTW TRAYED	79000	227900	10300
DIST-veb		DRB U TUBE	11600	59900	330



Calculator

- Ismert az $y = f(x)$ összefüggés
- Példa:
fermentáció előtt pH állításhoz kísérletekből ismert, hogy 1 kg tápoldathoz 0,05 kg 10%-os kénsav oldatot kell adni
- y a kénsav oldat tömegárama \rightarrow H2SO4
- x a tápoldat tömegárama \rightarrow SOLU
- összefüggés $y = f(x)$ alakban:
- $H_2SO_4 = 0,05 * SOLU$



Find Components dialog box details:

- Search criteria: Compound name or alias contains **Sulfuric acid**
- Compound class: All
- Search results: 27 compounds found
- Highlighted compound: Sulfuric acid (CAS: 7727-37-0, MW: 98.08)

Component	Mass Flow (kg/hr)	Mass Fra
GLUCOSE	100.000	0.910
CO2		0.002
ETHANOL	40.000	0.044
WATER	960.000	0.960
H2SO4	10.000	0.010



**Hőintegráció,
Aspen Energy Analyzer**

Példa: kukoricadara alapú alkoholgyártás

- amiláz enzim es elfolyósítás 85°C-on
- fermentáció 30°C-on
- fermenté előmelegítése 80°C-ra
- desztilláció légköri nyomáson
 - visszaforráló 100°C-on üzemel
 - fejtermék kondenzációja 91°C → 81°C



Data

Name	Inlet T (°C)	Outlet T (°C)	MC (kg/h)	Enthalpy (kJ/h)	HTC (kW/m ² °C)	Flowrate (kg/h)	Effective Co. (kJ/kg°C)	DT Cont.
HEAT1	100.0	30.0	1.5E+03	314	2000.00	—	—	Global
COOL1	80.0	30.0	1.5E+03	242	2500.00	—	—	Global
HEAT2	80.0	40.0	1.4E+03	343	2000.00	—	—	Global
REBOILER	100.0	200.0	2.03E+03	567	6000.00	—	—	Global
CONV	30.0	30.0	1.57E+03	480	8000.00	—	—	Global

HTC Default Values

- Automatic Vapor Stream Azeotrope Base
- Low-Boiling Hydrocarbon Stream
- DEFAULT
- Distillation Feed
- Ethanol Azeotrope (HEA or DEA) 10-25% vol%
- Fuel Oil
- Gasoline
- Heavy Oil
- High-Boiling Hydrocarbon
- Hydrocarbon Refinery Steam
- Jacked Water
- Kerosene
- Low-Molecular Weight Hydrocarbon
- Low-Boiling Hydrocarbon
- Light Oil (High Viscosity)
- Light Oil (Low Viscosity)
- Naphtha
- Organic Solvents (Liquid Liquid)
- Organic Solvents High Non-Condensables
- Organic Solvents Low Non-Condensables
- Crude Oil Reflux Vapor
- Crude Oil

Process Stream

- Aspen Plus alapján írjuk be a hőmérsékletet és az entalpiaváltozást
- A HTC (hőátadási együttható) értékét a hűtőm jellege alapján választjuk ki
- Látens hőközlésnél, ha az Aspen Plusban nem is változik a hőmérséklet, itt 1°C különbséget veszünk

Data

Name	Inlet T (°C)	Outlet T (°C)	Cost Index	HTC (kW/m ² °C)	Target Load (kW)	Effective Co. (kW/m ² °C)	Target FlowRate (kg/h)	DT Cont.
4-BAR STEAM	144	113.1	113.1	113.1	8000.00	5603	—	Global

Process Stream

- It adjuk meg a közműveket: hűtővíz, fűtőgőz
- beépítési és költési hőmérséklet
- ára €/kJ-ban értendő
- rodalmi forrás alapján állítottam be a gőz árát, mert az alapértelmezett irreálisan alacsony volt
- nem hatékony az integráció, mert olcsó a gőz
- HTC kiválasztása

Economic

Name	Heat Exch. Capital Cost Index Parameters	HT Cond.
DEFAULT	2.97E+04	0.82
HEAT EXCH.	0.50	0.50

Annualization

- Rate of Return (%) 11.8 ROR
- Plant Life (years) 10.0 PL
- Annualization Factor: (1 + ROR/100)^{PL}
- Operating Cost Hour of Operation 4000.00 hrs/year

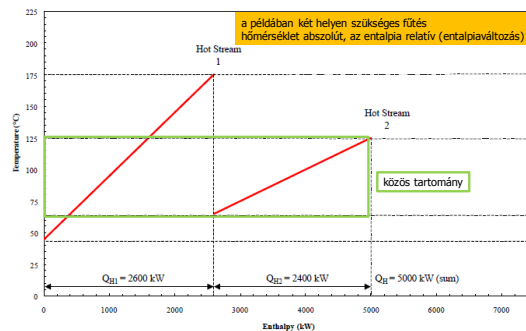
Capital Cost Index (Feed Heater) [C_{FC}] = a + b * Fixed Heater Duty [T]

Process Stream

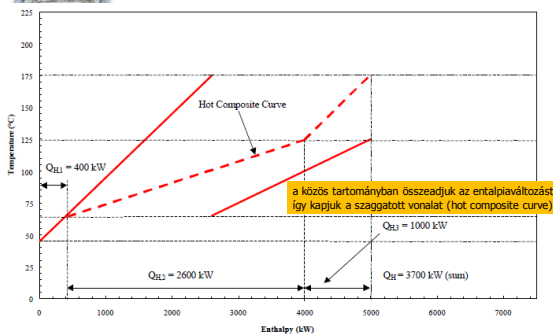
- a, b együttható és c kitévő értékeit az Aspen Economic Analyzer árai alapján ittesselssel határoztam meg a beruházási költséget €-ban kapjuk meg < a hűtőadó felületétől és a járatok (Shells) számától függ
- a megtérülési ráta (ROR) és élettartam (PL) értékei nem mérvadások, azokat úgy állítottam be, hogy 0,11 legyen az annualization factor



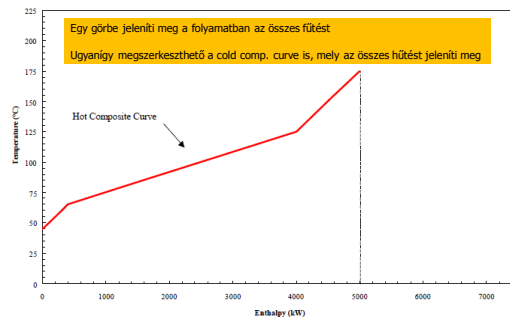
Hot composite curve szerkesztése 1.

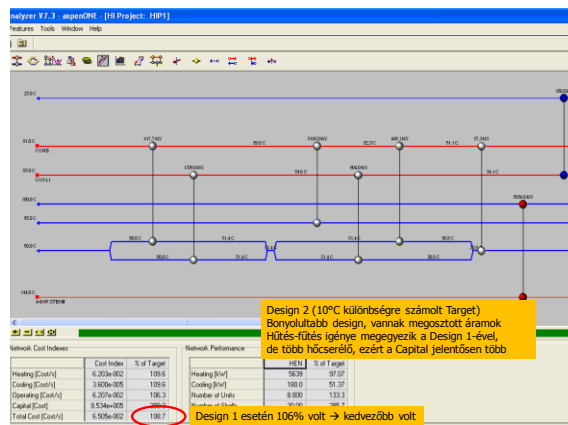
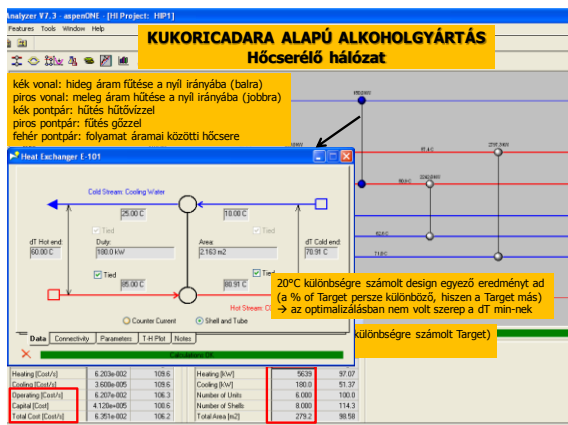
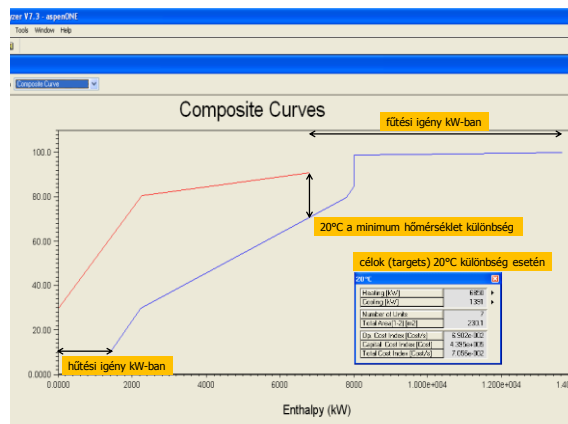
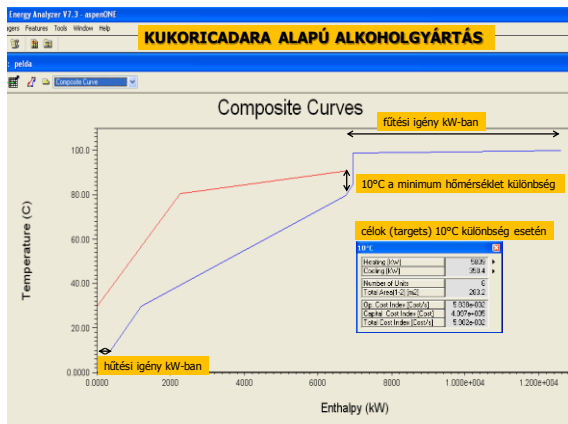


Hot composite curve szerkesztése 2.



Hot composite curve szerkesztése 3.





Méretezés 1.

Az Aspen Plus-ban folyamatos üzemet modellezzünk állandósult állapotban

1. Szakaszos üzemi berendezések (fermentorok) méretezése manuálisan Excelben Számolnunk kell a holtidővel: két fermentáció között a leengedéshez, tisztításhoz, feltöltéshez, (sterilizációhoz) szükséges idő

Az ütemezés alapja a ciklusidő = fermentációs idő + holtidő
 Erjesztés melasz alapú etanolgyártásnál: ciklusidő 30 h, CIP
 Élesztőszaporítás: ciklusidő 15 h, steril – nyomásálló tartály
 100 m³/h hígított melasz érkezik a fermentációs üzembe, és tfh. egy etanolfermentorba ebből az anyagból maximum 250 m³ tölthető
 → 12 etanolfermentor szükséges,
 és azokat 15 órás eltollással indítva 6 élesztőszaporító fermentor képes ellátni
 Oltóágak inokuláránya:
 Élesztőszaporításnál 7,5-10%
 10%-ra példa 1. lépték 1 m³, 2. lépték 10 m³, 3. lépték 100 m³

CIP: Cleaning in place, helyben tisztítás



Méretezés 2.

Fermentorok méretezése

- Tartály:
 hasznos térfogat 80%
 $H=D$
- Csőkígyó:
 hőátadási tényező 1 kW/(m²°C)
- Keverő:
 bekevert teljesítmény: 40 W/m³
- Szivattyú:
 szivattyúzási idő 1-4 h
- Kompresszor:
 0,5 VVM (levegő térfogat / fermentor hasznos térfogat / perc)

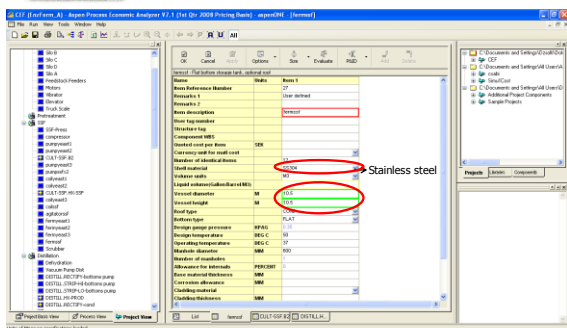
2. Aspen Process Economic Analyzer az Aspen Plus-ban kapott riport alapján méretezi a készülékeket desztilláló oszlopok, puffertartályok

WIS: vízben nem oldható szilárdanyag





Aspen Economic Analyzer adatlap – Excelben méretezett fermentor



Állótőke-beruházás (Fixed Capital Investment)

1. Aspen Icarus / Aspen Economic Analyzer

- **Közvetlen költségek**
A beszerelt készülék költsége
Üzemcsarnok is benne van
- **Közvetett költségek**
Mérnöki munka
Építési költségek
Ügyvédi díjak

2. Árajánlat

Etanolgyártásnál: abszolútizáló, szűrőprés, szárító, bojler
A kitevő ökölszabály szerint 0,6, de ha több kapacitásra is van ár, illesztéssel számolható

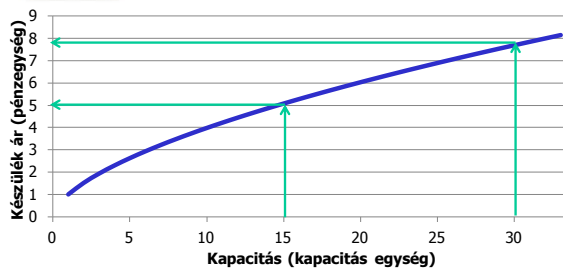
$$\frac{\text{Ár}_2}{\text{Ár}_1} = \left(\frac{\text{Kapacitás}_2}{\text{Kapacitás}_1} \right)^{0,6}$$



116



Méretgazdaságosság



117



Forgótőke-beruházás, Évre vetített tőkeberuházás

Forgótőke (Working Capital Investment) Peters és Timmerhaus ajánlása szerint [1]

- 30 napra elegendő nyersanyag- és vegyszerkészlet
- 30 nap alatt előállított termék
- 30 nap alatt fizetett munkabér
- kimenő számlák értéke 30 napra nézve

Évre vetített tőkeberuházás

- Éves állótőke = állótőke · annualization factor (AF)
 $AF = r/[1-(1+r)^{-n}] = 0,11$
 $r = \text{kamatláb (7\%)}$
 $n = \text{beruházás élettartama (15 év)}$
- Éves forgótőke = forgótőke · kamatláb (7%)

[1] Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw-Hill, New York, (1991)



118



Működési költségek, etanol előállítási költség

- Éves működési költségek
 - nyersanyag, vegyszerek, közművek, egyéb (bérek, biztosítás, karbantartás)
 - egy év alatt fogyasztott mennyiség x ár
- Etanol előállítási költség (€/liter)

$$\text{Évre vetített tőkeberuházás (álló és forgó)} + \text{Éves működési költség} \\ \text{Éves termelt etanolmennyiség}$$

ha van melléktermékből származó jövedelem, az a számlálóban negatív tagként jelenik meg



119