



Pécsvárad Kft.

7720 Pécsvárad, Pécsi út 49.

Tel/Fax: 72/465-266

<http://www.bausoft.hu>

WinWatt Agros2D

hőhíd számítást segítő modul

Szerzők:

dr. Baumann József
okl. villamosmérnök
2211 Vasad, Kossuth L. u. 51.
Mobil: 30/681-3365
email: bausoft@bausoft.hu

Baumann Mihály
okl. gépészmérnök
7720 Pécsvárad, Pécsi út 49.
Mobil: 30/9569-835
email: bm@bausoft.hu

2021. május

1. Az Agros2D program és a modul kapcsolata

Az Agros2D program egy végeselem módszeren alapuló program, fizikai problémák megoldására, amit a pilseni Nyugat-Csehországi Egyetemen fejlesztettek ki. A program szabadon felhasználható változata a következő helyről tölthető le: <http://www.agros2d.org>

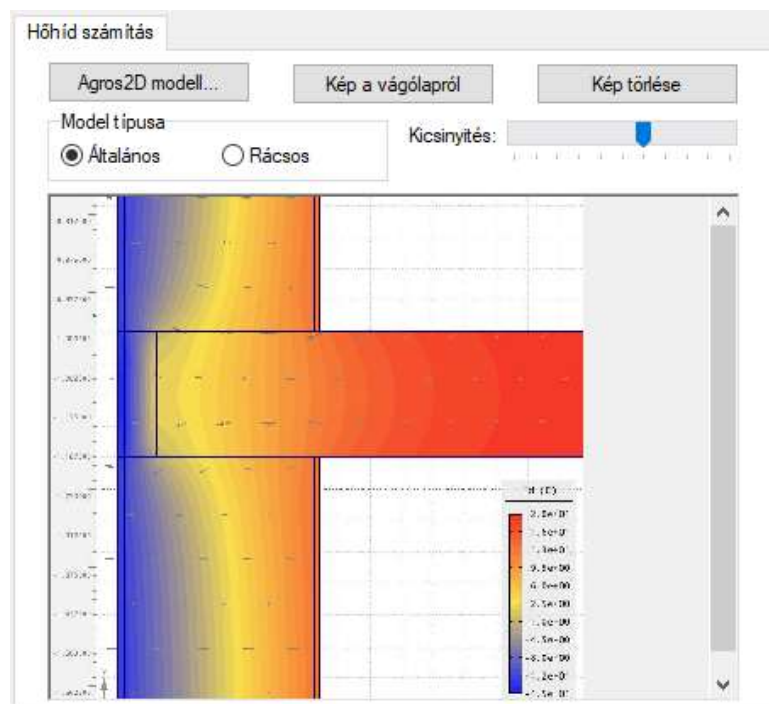
A program telepítése után, a magyar nyelvű használathoz (sajnos nem teljeskörű a fordítás, de viszonylag kevés helyen maradt angol nyelvű szöveg) letölthetjük az általunk készített nyelvi fájlokat tartalmazó fájlt, honlapunk telepítők oldaláról (<http://www.bausoft.hu/install/Agros2Dhun.zip>). Ezt kell az Agros2D program könyvtárán belül a resources\lang\ könyvtárba kicsomagolni. Használatához az Agros2D-ben a program beállításokban a nyelvre a hu_HU értéket kell kiválasztani.

Az Agros2D fejlesztői a problémát leíró modell létrehozását Python program segítségével is lehetővé tették. A WinWatt Agros2D modul a hőhíd modell bevitelének megteremtése mellett, ezeknek a modellt leíró Python fájloknak a létrehozását végzi. Ezek a Python programok nem csak a modellt írják le, hanem a hőhídhöz társítható vonalmenti hőátbocsátási tényező értékének kiszámítását is elvégzik, a fizikai modell számítási eredményeire támaszkodva.

A fizikai problémát leíró modellt magában az Agros2D programban is létre lehet hozni, de a WinWatt Agros2D modul ezt a folyamatot egyszerűbbé teszi, és a modellt és az eredményeket is egyszerűen integrálhatjuk a teljes számítási dokumentációba.

2. A modell létrehozása a WinWatt Agros2D moduljával

A hőhíd modell beviteléhez a szerkezetek jegyzékben kell létrehoznunk egy új, ismert szerkezetet, és a típusát *hőhíd (külső)* értékre kell felvennünk. Ebben az esetben jelenik meg a hőhíd számításra szolgáló rész.



Ha nem rendelkezünk a kiegészítő modullal, akkor csak a kép beillesztésére, illetve törlésére van lehetőségünk, ha viszont rendelkezünk a modullal, megjelenik az *Agros2D modell* nyomógomb is.

A modell létrehozására két különböző módszert biztosít a program. Az *általános modell* típusal korlátozottak a leírható problémák, de egyszerűbb, gyorsabb a modell megalkotása. A *rácsos modell* nagyobb szabadságot ad, de hosszadalmasabb a folyamat.

2.1. Az általános modell használata

Először az általános modell *hőhid típusát* kell kiválasztanunk.

	Fal és födém csatlakozása	Fal és födém csatlakozása + attika	
	Erkélylemez	Falba épített pillér	
	Pozitív falsarok	Negatív falsarok	
	Fal és belső födém csatlakozása	Belső falcsatlakozás	
	Födém és belső fal csatlakozása	Nyílászáró falba építése	

A típus kiválasztása után a modellt alkotó egységekre vonatkozó adatokat adhatjuk meg. Részletesen csak néhány típust ismertetünk a leírásban.

Fal és belső födém csatlakozása

Először a *külső fal adatait* adjuk meg.

Külső fal adatai
Födém adatai

Hőátadási tényező kívül: W/m²K belül: W/m²K

Panel eltolás: cm

Panel rétegek Vég, lezáró rétegek

Réteg megnevezés	d [cm]	λ [W/mK]	δ [cm]	Színe
Cementvakolat	1	0,93	0	
B 30-as téglafalazat	30	0,64	0	
javitott mészkövelés	1	0,87	0	

Réteg megnevezés

Vastagság

 cm

Hőv. tényező

 W/mK

Réteg eltolás

 cm

Felvez

Betölt...

Módosít

Felfelé

Lefelé

Töröl

Az adatokat leggyorsabban úgy adhatjuk meg, hogy a *betölt* gombbal kiválasztjuk a már korábban bevitt falszerkezetünket. Ilyenkor a betöltött szerkezetnél megadott *külső és belső hőátadási tényező* mellett, a szerkezetet alkotó rétegrend is automatikusan megjelenik a listában. Előfordulhat, hogy az eredeti szerkezet egyes rétegeit a program automatikusan elhagyja. Ezt olyan rétegek esetében teszi, amiknek vastagsága, illetve hővezetési ellenállása elhanyagolható a számítás szempontjából. Ha benne hagynánk a modellben, az a modellt feleslegesen elaprózná, és a végeredményen nem változtatna.

A listában a rétegek elnevezése, vastagsága és hővezetési tényezője mellett, annak az ábrában alkalmazott színe is megjelenik. Ezt a színt a program a hővezetési tényező alapján veszi fel. A rétegek listáját módosíthatjuk, felvehetünk új rétegeket, vagy a meglévő rétegek adatait módosíthatjuk, törölhetjük. Az egyes rétegeknek van még egy paramétere, a *réteg eltolás*, erről később teszünk említést. Magának a teljes panelnek is lehet eltolása, ezzel is később foglalkozunk. A panel rétegek mellett a modellben lehet a falunknak egy vég, lezáró rétegek listája is, ezzel is később foglalkozunk.

Térjünk át a *födém adatai* fülre. Az adatok megadását itt is leggyorsabban az adott födém szerkezet betöltésével végezhetjük el.

Külső fal adatai
Födém adatai

Hőátadási tényező felül: W/m²K alul: W/m²K

Panel eltolás: cm

Panel rétegek
Vég, lezáró rétegek

Réteg megnevezés	d [cm]	λ [W/mK]	δ [cm]	Színe
tölgyfa (rostokra merőlege...	1,5	0,22	0	
vasbeton	20	1,55	0	
jávitott mészkövek	1	0,87	0	

Réteg megnevezés

Vastagság

 cm

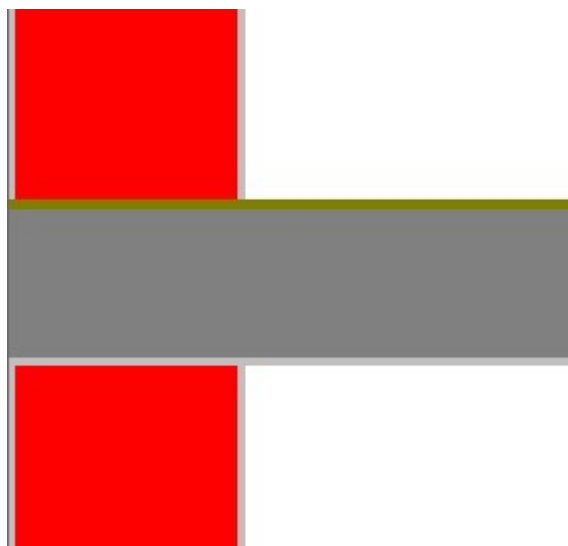
Hőv. tényező

 W/mK

Réteg eltolás

 cm

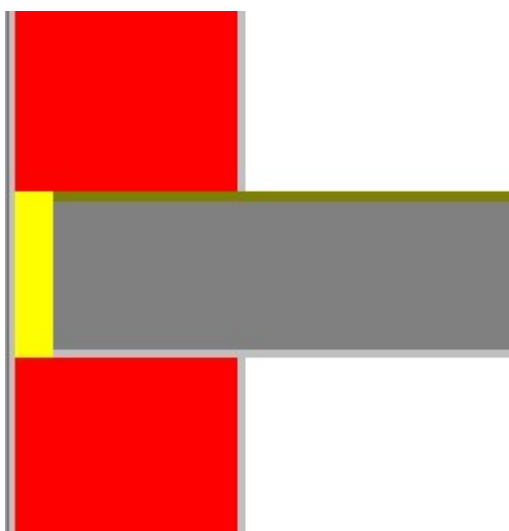
Ezek után a modellünk képe a következőképpen alakul.



Ezzel a képpel több probléma is van. Egyrészt a földem külső részén nincs vakolat. Az is elképzelhető, hogy a földem vasbeton lemeze kívülről még egy, a hőhíd hatását mérséklő függőleges hőszigetelő réteggel is el van látva.

Ezt a két réteget (vakolat és hőszigetelés) egyszerűen felvehetjük a modellünkben. Ehhez a földem adatainál a vég, lezáró rétegeknél kell megadnunk ennek a két rétegnek az adatait. Ezt is lehet egy meglévő szerkezet adatainak betöltésével gyorsítani.

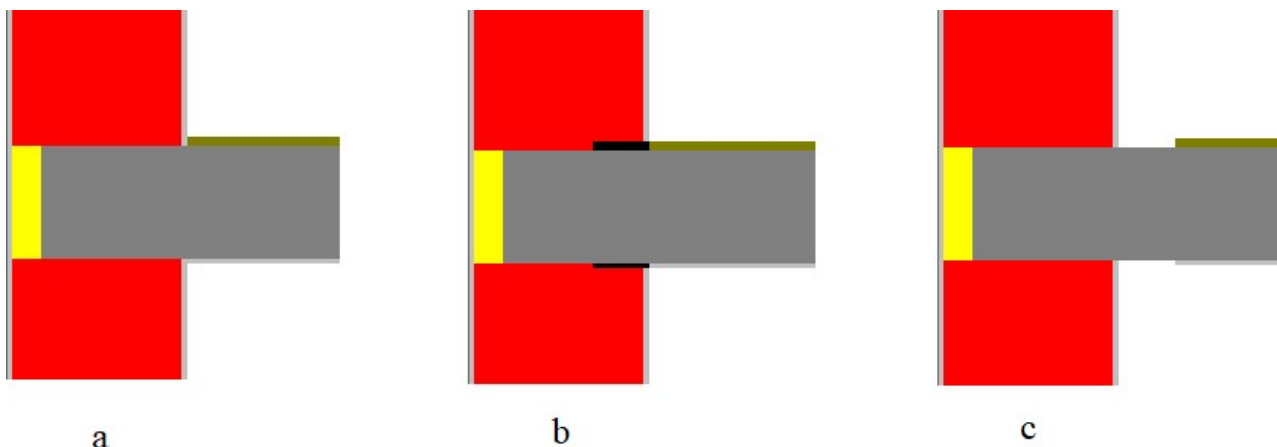
Panel rétegek		Vég, lezáró rétegek			
Réteg megnevezés	d [cm]	λ [W/mK]	δ [cm]	Színe	
Cementvakolat	1	0,93	0		
Heraklith-C (50 mm vastag)	5	0,079	0		



További módosításra is szükségünk van, mivel a földem legfelső és legalsó rétege belóg a falba. Ezeket a hibákat a földem ezen két rétegénél a réteg eltolással lehet orvosolni. A falunk vastagsága 32 cm, és a földemünk végén lévő két réteg vastagsága 6 cm. Tehát ezt a két réteget $32-6=26$ cm-rel kell eltolnunk, ezt az értéket kell mindkét rétegnél, mint réteg eltolást megadni.

Panel rétegek		Vég, lezáró rétegek			
Réteg megnevezés	d [cm]	λ [W/mK]	δ [cm]	Színe	
tölgyfa (rostokra merőlege...	1,5	0,22	26		
vasbeton	20	1,55	0		
javitott mészvakolat	1	0,87	26		

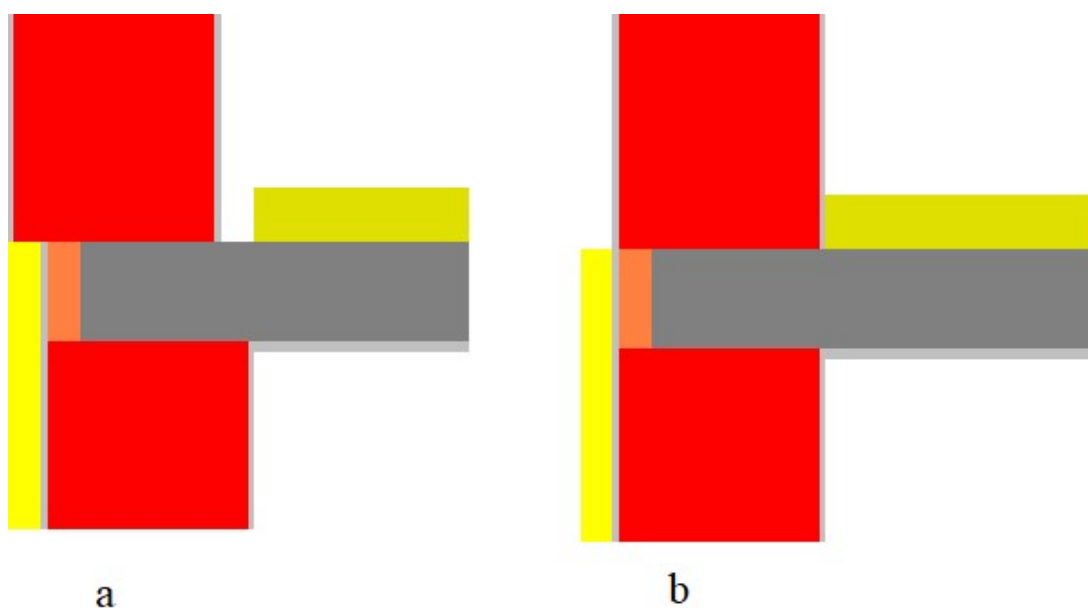
Igy a modellünk képe is megfelelő már (a ábra). Ha a szükségesnél kisebb eltolást adtunk volna meg, akkor átfedés adódna két réteg között, és ezt a területet a program feketével színezné ki, ami hibára utal (b ábra). Ha nagyobb érték szerepelne, akkor viszont az ábrán egy részen a csupasz beton jelenne meg (c ábra). Ez formálisan nem jelentene a programnak hibát, de a modellünk eltérne a valóságtól.



Ezzel a modellünk elkészült, az Agros2D modell mentése gombbal tudjuk a szükséges Python fájlt létrehozni. Fontos, hogy a fájlnevben, útvonalban ne használjunk ékezetes karaktereket, mert az Agros2D PythonLab alkalmazásakor ez hibát okozhat. A további lépések a többi modelltípus ismertetése utáni fejezetben következnek.

Fal és födém csatlakozása + attika

Ennek a modellnek az elkészítése az előzőek szerint történik, csak itt három szerkezeti rész szerepel. Külső fal, födém és attika fal. A példaként elkészített modellben az attika fal nem kapott hőszigetelést, viszont így nem fut együtt az alatta lévő téglafallal (a ábra). Ekkor segít a panel eltolás érték megadása. A falon lévő hőszigetelés vastagságát megadva az attika falnál a panel eltolás rovatban, kapjuk a helyes modellt (b ábra).



Nyílászáró falba építése

Ennél a modellnél a fal adatai mellett a nyílászáróra vonatkozó adatok megadása szükséges.

Keret

Vastagsága:	<input type="text" value="5"/>	cm
Hőátbocsátási tényezője:	<input type="text" value="2"/>	W/m ² K ▾
Pozíciója a fal külső síkjától:	<input type="text" value="15"/>	cm

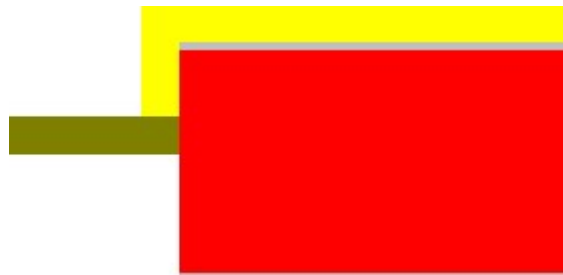
A nyílászárónál csak a keretre vonatkozó néhány adat szükséges. A nyílászárón belüli hőáram alakulása, amit a keret és az üveg találkozása, illetve a távtartó okoz, ez esetben nem érdekel minket, az a nyílászáró U értékének meghatározási problémája.

Lehetőségünk van még a fal végén ráforduló szigetelés megadására is. Jelen esetben csak kívülről van a falvég a nyílászáró keretig plusz hőszigeteléssel ellátva.

Keretre ráfedő szigetelés, ha van

Vastagsága:	<input type="text" value="5"/>	cm
Hővezetési tényezője:	<input type="text" value="0,04"/>	W/mK ▾
Elhelyezése:	<input type="text" value="Csak kívül"/>	▾

Így a modellünk a következőképpen fest.



2.2. A rácsos modell használata

A rácsos modell használatával nagy szabadságot kapunk a modell megalkotásakor. A modell ebben az esetben egy vízszintes és függőleges vonalak segítségével létrehozott rács rácspontjain alapul.

Kiindulhatunk egy korábbi modellből, azt tovább alakítva. Ehhez találunk néhány kiinduló modellt a program katalógusában. Készíthetünk teljesen új modellt is. Ebben az esetben a modell elkészítése egy kis előkészületet igényel, hogy meghatározzuk, hol szükségesek a rácsvonalak. Szükség esetén később is beszúrhatunk új rácsvonalakat is, de egyszerűbb, ha előre meghatároztuk a rácsvonalakat.

A leírásban egy pozitív falsarkot készítünk el, ahol a falsarokban egy beton pillér helyezkedik el, a külső élei mentén hőszigetelve. Ahhoz, hogy a szerkesztést elkezdhessük, be kell kapcsolnunk a szerkesztés mód kapcsolót.

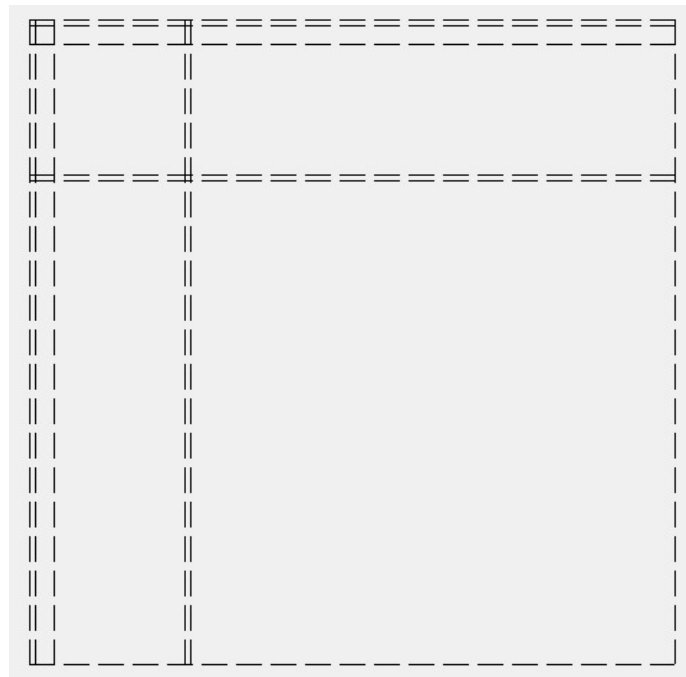
A rácsvonalak definiálása

Általános adatok	Méret	Anyagok	Határfeltételek	U értékek		
Vízszintes méretek [cm]:	1,5	5	33	1,5	123	Új függőleges rácsvonal hozzáadása
Függőleges méretek [cm]:	1,5	5	33	1,5	123	Új vízszintes rácsvonal hozzáadása

Az új függőleges, illetve vízszintes rácsvonal hozzáadása nyomógombbal létrehoztunk 5-5 cellát, és az egyes rácsvonalak közti távolságokat megadtuk. A két listában az értékek a következőkből származnak.

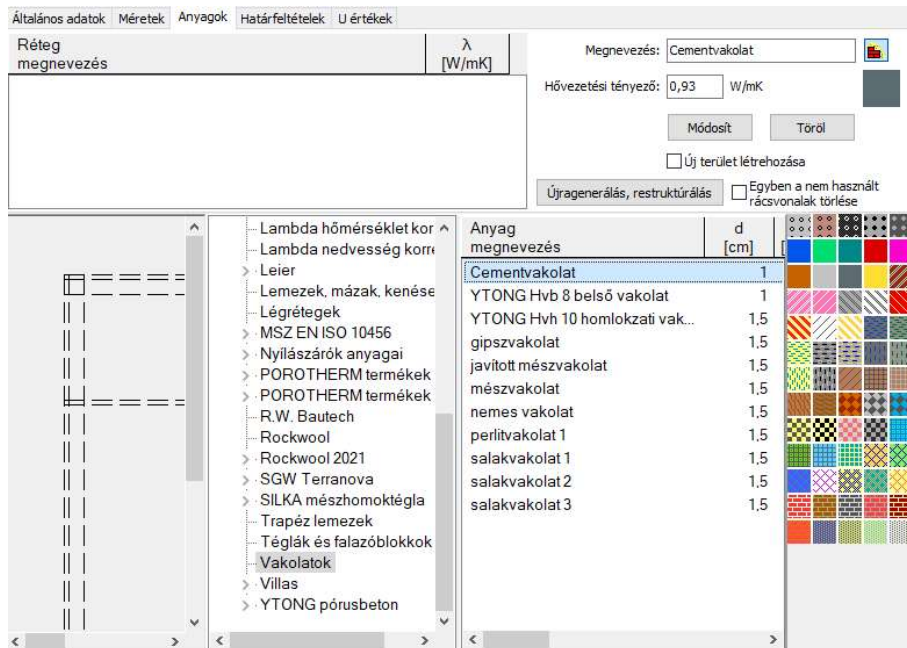
- 1,5 cm a külső vakolat vastagsága
- 5 cm a pillér hőszigetelésének vastagsága
- 33 cm a 38 cm vastag téglafalból levonva 5 cm-t a hőszigetelés, így marad 33 cm a pillér beton részére
- 1,5 cm a belső vakolatra
- 123 cm a fal hossza a modellben. Ez a fal vastagságának 3 szorososa $(38 + 2 \cdot 1,5) \cdot 3$, de minimum 1 m.

A méretek megadása után a rácsozat a következőképpen néz ki.



Az anyagok megadása

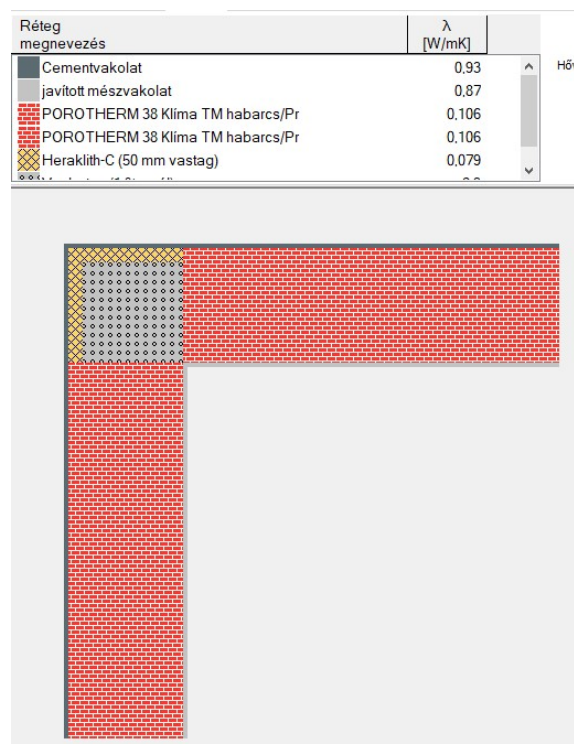
A következő lépés, hogy a rács pontjait felhasználva, meghatározzuk az egyes területeket és azokhoz hozzárendeljük a megfelelő anyagokat.



Egy új terület megadása előtt célszerű a *megnevezés* mögötti ikonnal bekapcsolni az anyagjegyzéket, illetve az alatta lévő színes mezővel megjeleníteni a választható kitöltés ábrákat. Válasszuk ki a megfelelő anyagot, illetve kitöltést, majd zárjuk be őket ismét kattintva az ikonokra, hogy több helyünk legyen a modell megjelenítésére.

Az anyag és a kitöltés kiválasztása után, kapcsoljuk be az *új terület létrehozása* kapcsolót, majd kattintsunk sorban az adott anyaggal kitöltött rész meghatározásához az azt határoló poligon sarokpontjaira. A kattintásoknál mindig a legközelebbi rácspontot veszi fel a program, és a megjelölt pontokat kis piros kereszttekkel jelöli. A terület bezárásához kattintsunk ismét a kezdőpontra. Ha egy pontot tévesen adunk meg, visszavonhatjuk annak a jelölését újra kattintva rá.

Ezt a folyamatot ismételve adjuk meg valamennyi területhez a szükséges anyagokat. Ezt követően a modellünk így néz ki.



Határfeltételek megadása

A külső, illetve a belső oldalra kell megadnunk határfeltételeket. Ehhez először adjuk meg az *elnevezését, típusát, a hőmérsékletét és a hőátadási tényezőt*. Utána kapcsoljuk be az *új határfeltétel létrehozása* kapcsolót, majd pedig adjuk meg a határfeltétel kezdő, illetve végpontját úgy, hogy a két pont a modellünket az óramutató járásával megegyezően kövesse. A maradék szakaszokra a program automatikusan generálja a Neumann határfeltételt, azzal nincs külön teendőnk.

Határfeltétel típusok			
Határfeltétel elnevezés	Típusa	t [°C]	α [W/m ² K]
külső	külső	-15	24
Neumann	Neumann	0	0
belső	belső	20	8

Elnevezése:

Típusa:

Hőmérséklet: °C

Hőátadási tényező: W/m²K

Új határfeltétel létrehozása

U értékek megadása

A modellünk valójában már elkészült, annak hőmérséklet eloszlása, illetve a veszteségtényezője (L_{2D}) már számítható. Nekünk viszont a hőhidat jellemző vonalmenti hőátbocsátási tényezőre van szükségünk. Ezt úgy kaphatjuk meg, ha a teljes veszteségre adódott L_{2D} tényezőtől kivonjuk a számításainkban az egyes felületekhez számolt veszteségeket. Jelen esetben nekünk a két falszakaszra számolt $U \cdot L$ értéket kell levonnunk, ahol U az adott falszakasz hőátbocsátási tényezője, L pedig a fal hossza.

Az *U érték elemek generálása* nyomógomb megnyomásával a program automatikusan generálja nekünk a két falszakaszra ezeket az értékeket.

U érték [W/m ² K]	hossz [m]	U = 1 / (1 / 24 + 1 / 8 + 0,015 / 0,93 + 0,38 / 0,106 + 0,015 / 0,87)
0,2642	1,23	
0,2642	1,23	

A képen azt is látjuk, hogy az első sort kiválasztva, az U értéket melyik rétegek alapján számolta. Az ábra jobb szélén piros vonallal jelölte az ehhez tartozó keresztmetszetet, illetve a számításhoz használt képlet is megjelenik. A fal hosszát a fekete vonal mutatja. Előfordulhat olyan eset, amikor a fal hosszához a program által hozzárendelt szakasz nem megfelelő. Ilyenkor a *hossz leíró él(ek) módosítása* kapcsolót bekapcsolva, magunk választhatjuk ki a hossz számításhoz szükséges éleket.

Agros2D modell létrehozása


A folyamat végén az *Agros2D modell mentése* gombbal hozhatjuk létre a számításhoz szükséges Python fájlt. Magát a modellt leíró XML fájlt külön is elmenthetjük, így más munkánkba is egyszerűen betölthető az adott modell.

Utólagos módosítások

Előfordulhat, hogy a modellünk már kész van, amikor kiderül, hogy további kiegészítésre szorul. Ha ehhez új rácsvonalakra is szükség van, bővíthetjük a meglévő rácsot. Ehhez az új rácsvonal helyén kell az egér jobb gombjával kattintanunk, majd pedig megadni, hogy egy új vízszintes, vagy függőleges vonalról van-e szó. Ha köztes rácsvonal jön létre, akkor a korábbi távolságot két részre osztja a program, természetesen a távolság értékek módosíthatók. Ha a meglévő modellen kívül (előtte, mögötte, alatta, felette) kell új rácsvonal, akkor a modellen kívül, de kellően közel kell kattintanunk, majd a tényleges távolságot megadnunk.

Időnként egyes módosítások, például területek törlése után előfordul, hogy az Agros2D számára generált Python fájl felesleges és hibát okozó éleket is tartalmaz. Ilyenkor az anyagok fülön található *újragenerálás*, *restrukturálás* gombbal kérhetjük a modell újraépítését, aminek következtében ezek a hibák megszűnnek. Ha ilyenkor az *egyben a nem használt rácsvonalak törlése* kapcsoló is be van kapcsolva, akkor a felesleges rácsvonalakat is eltávolítja a program. Az U értékre vonatkozó rész is újra generálódik ilyenkor, ezt a részt célszerű ilyenkor ellenőrizni.

3. Számítások az Agros2D programban

A számításokhoz az elmentett Python modellfájl kell betöltenünk az Agros2D-ben. A Python fájlok kezelésére ilyenkor elindul a PythonLab modulja az Agros2D programnak. Az ikonsorban lévő  ikonnal indíthatjuk el a számítást.

A futtatás eredményét a konzol ablakban találjuk. Itt nyomon követhetjük a vonalmenti hőátbocsátási tényező számítását is. Megjelenik a belső (q_i) illetve a külső (q_e) határra számított veszteség, az ezek és a hőmérsékletkülönbségből számolt L_{2D} veszteségtényező. Az $A \cdot U$ alatt látjuk, hogy a felületekhez milyen veszteségeket vettünk fel, és végül ezt levonva mekkora a vonalmenti hőátbocsátási tényező (Ψ), ami az adott hőhídhoz tartozik. Ezt az értéket adjuk meg a WinWattban is a szerkezetre vonatkozólag.

Az Agros2D-ben megnézhetjük a számítási eredményeket a modell képére vetítve is, és ezt a szerkesztés menü *kép másolása a vágólapra* parancsával a vágólapra is menthetjük, ahonnan a WinWattba beilleszthetjük.



```
Konzol
2.7.1 (x271:86832, Nov 27 2010, 18:30:46) [MSC v.
1500 32 bit (Intel)] on win32

>>>
Kód futtatása : teszt
Hálógenerátor: Kezdeti háló generálás
Megoldó (heat): Lineáris megoldó: MUMPS
Megoldó (heat): Mező megoldás (egyetlen elemzés)
Megoldó (heat): DOF-ek száma: 14897
Megoldó: Eltelt idő : 00:00.867 s
qi: 30.99 W/m
qe: 30.81 W/m
L2d: 0.883 W/mK
A*U: 1.2300 m * 0.2642 W/m2K + 1.2300 m * 0.2642
W/m2K = 0.650 W/mK
Psi: 0.233 W/mK

Háló nézet: Kezdeti háló 7184 elemmel
Háló nézet: Polinomiális sorrend
Post View: Skaláris nézet
(heat_temperature_degrees)
Post View: Vektor nézet (heat_heat_flux)
Háló nézet: Kezdeti háló 7184 elemmel
Háló nézet: Polinomiális sorrend
Post View: Skaláris nézet
(heat_temperature_degrees)
Post View: Vektor nézet (heat_heat_flux)
Kód befejezése: 00:00:01.961
```

4. Agros2D videók

A honlapunkon több videó is található a modul használatáról.
<http://www.bausoft.hu/tutorials.htm>

5. A számítások dokumentálása

A WinWattban a kétféle modell dokumentálása a következőképpen fest.

Általános modell

Típusa: hőhíd (külső)
Vonalmenti hőátbocsátási tényező: 0.383 W/mK

Födém adatai

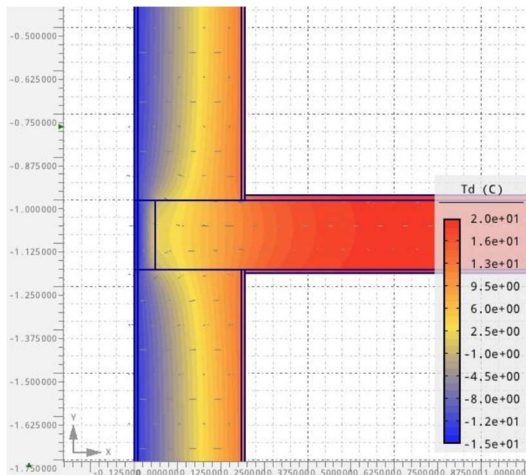
$\alpha_i = 10.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_e = 8.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
1,5 cm (0,22 W/mK) tölgyfa (rostokra merőlegesen)
20 cm (1,55 W/mK) vasbeton
1 cm (0,87 W/mK) javított mészvakolat

Vég, lezáró rétegek

1 cm (0,93 W/mK) Cementvakolat
5 cm (0,079 W/mK) Heraklith-C (50 mm vastag)

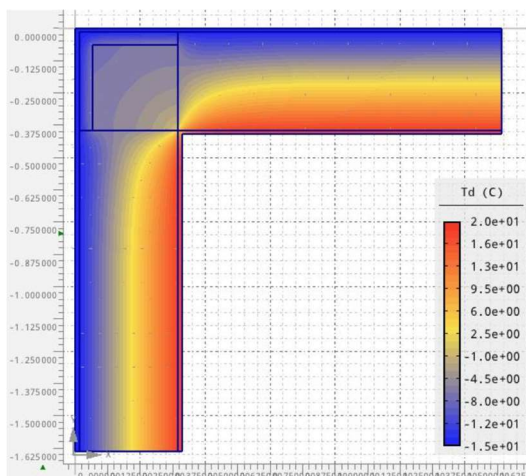
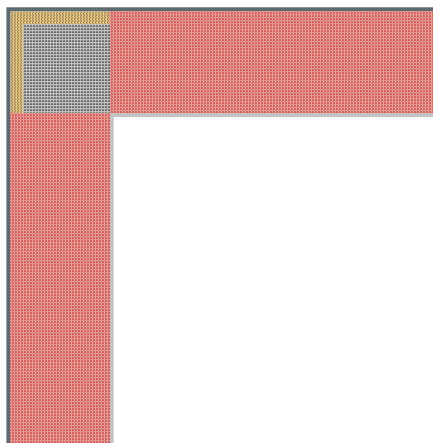
Külső fal adatai







$\alpha_i = 8.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_e = 24.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
1 cm (0,93 W/mK) Cementvakolat
30 cm (0,64 W/mK) B 30-as téglafalazat
1 cm (0,87 W/mK) javított mészvakolat



Rácsos modell

Típusa: hőhíd (külső)
Vonalmenti hőátbocsátási tényező: 0.233 W/mK
Vízszintes méretek: 1,5; 5; 33; 1,5; 123 cm
Függőleges méretek: 1,5; 5; 33; 1,5; 123 cm



	Cementvakolat, 0,93 W/mK	
	POROTHERM 38 Klíma TM habarcs/Pr, 0,106 W/mK	
	Heraklith-C (50 mm vastag), 0,079 W/mK	
	Vasbeton (1 % acél), 2,3 W/mK	