

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za arhitekturo



2. stopnja

Magistrski program Stavbarstvo

MAST

POROČILO IZ KONSTRUKCIJSKE

GRADBENE FIZIKE

PROGRAM WUFI

IZDELALI: Jaka Brezočnik, Luka Noč, David Božiček

MENTOR: prof. dr. Zvonko Jagličič

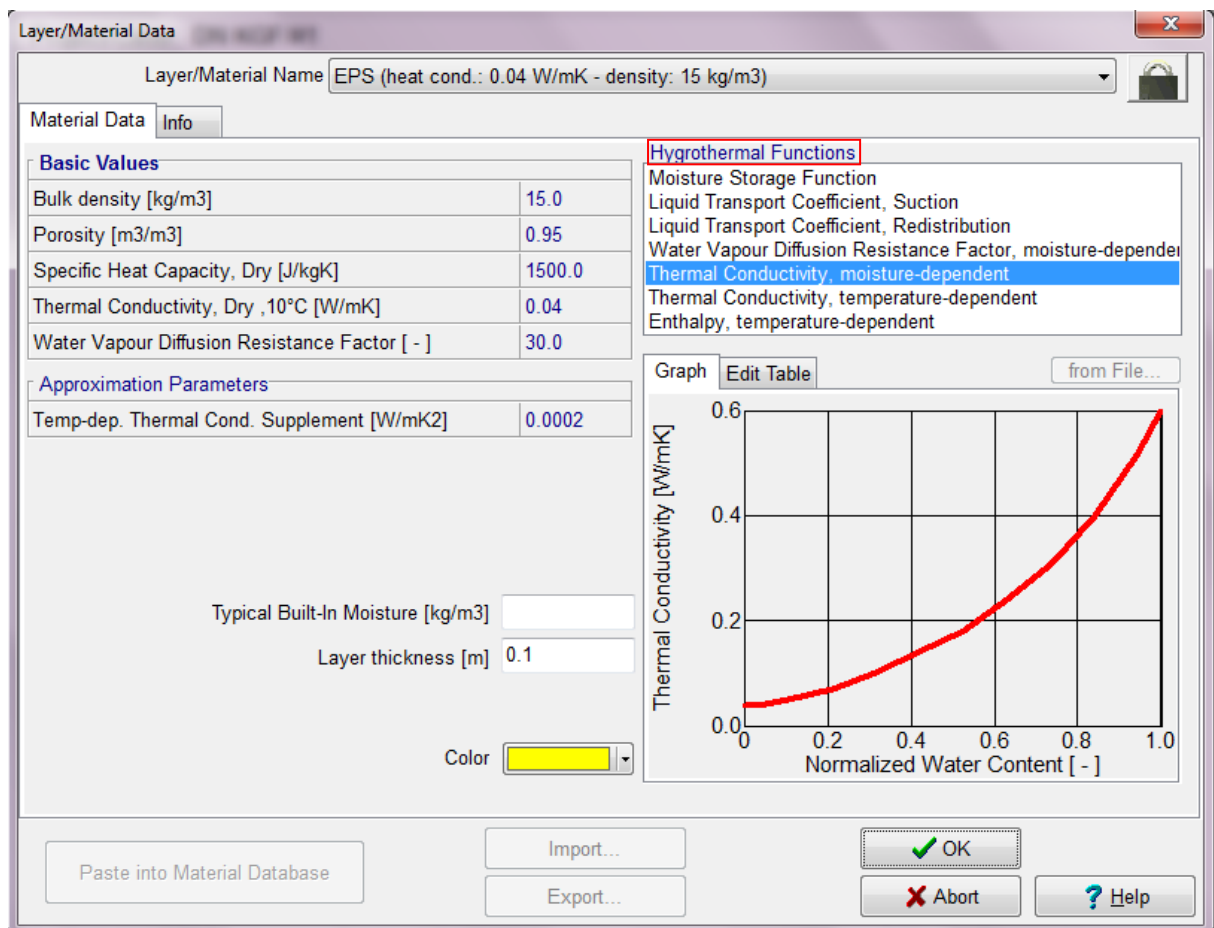
1.0 PROGRAMSKO ORODJE WUFI

Program WUFI nam omogoča dinamične analize konstrukcijskih sklopov glede prehajanja toplotnih tokov in spreminjanja vsebnosti vlage v materialu. Ima obsežno bazo materialov za katere ima prednastavljene skoraj vse hidrotermalne lastnosti. Omogoča računanje poteka temperature, relativne vlažnosti, vsebnosti vlage v odvisnosti od časa za izbran konstrukcijski sklop.

2.0 PRINCIP DELOVANJA PROGRAMA








Kot prvo moramo izbrati želene materiale iz katerih sestoji konstrukcijski sklop. Iz obsežne baze podatkov izberemo material, ki ga želimo uporabiti.

Vsak material iz baze podatkov ima podane vse karakteristike, ki jih v termodinamičnih izračunih potrebujemo. Program deluje izredno dinamično na vseh področjih. Tako v izračunih upošteva npr. toplotno prevodnost materiala v odvisnosti od vsebovane vlage in podobno (Slika 1).



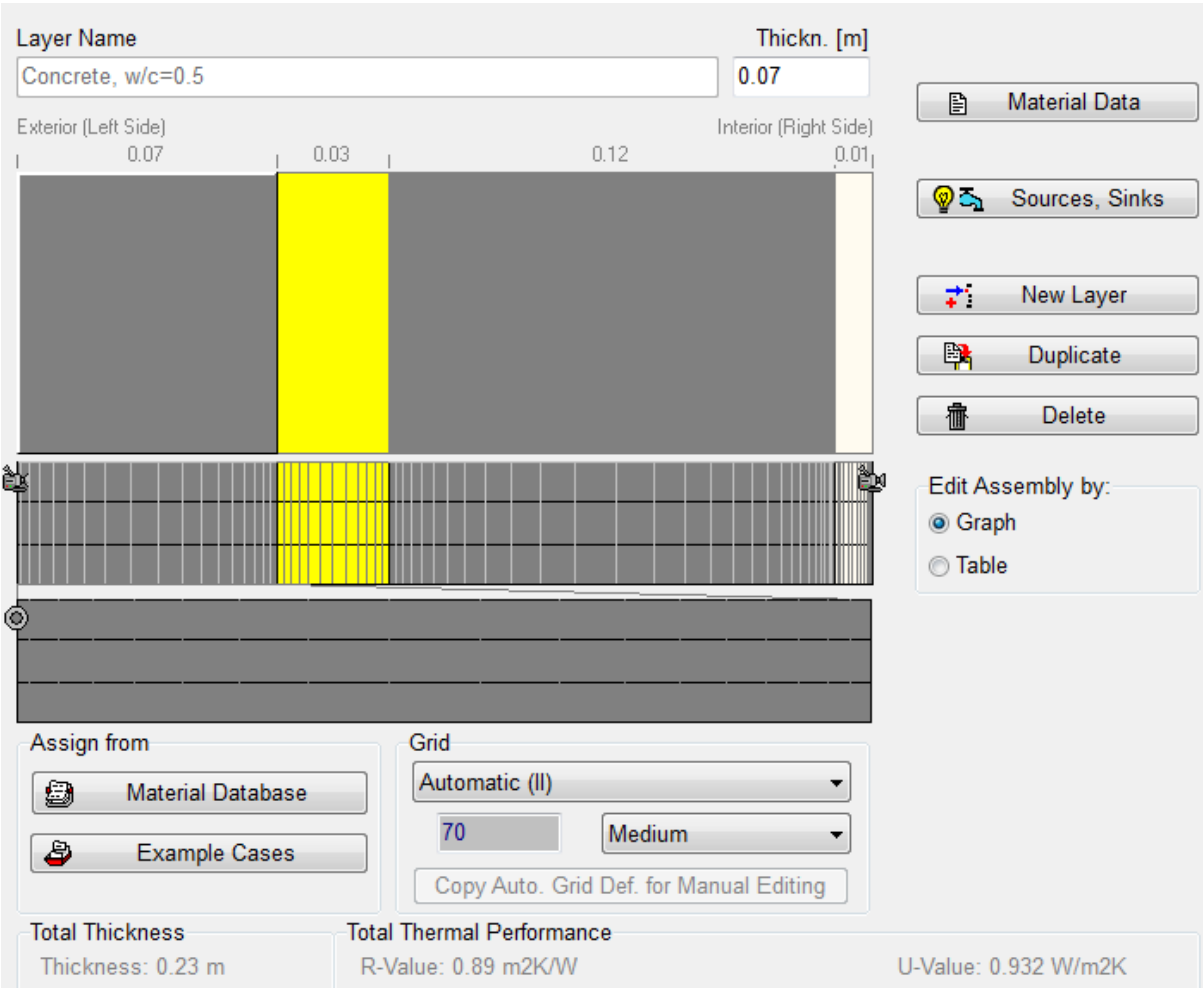
Slika 1: Zgled izbire material, prednastavimo lahko vsebnost vlage v materialu ter debelino materiala.

Tako nam program omogoča, da lahko za vsak material izvemo veliko podatkov o njegovem obnašanju pri termodinamičnih procesih.

Name		Den. [kg/m ³]	Por. [m ³ /m ³]	H. Cap. [J/kgK]	Ther. Cond. [W/mK]	Diff. Res. Fac. [-]
Oriented Strand Board (density 595 kg/m ³)		595	0.9	1500	0.13	165
Oriented Strand Board (density 615 kg/m ³)		615	0.9	1500	0.13	175
PA-Membrane		65	0.001	2300	2.9	4380
particle board (micro strand board)		664	0.59	2500	0.12	92
particle board V100		620	0.74	2500	0.12	44
Pavaflex		53	0.96	2100	0.039	1.35
Pavatex Diffutherm		168	0.883	2100	0.044	3.3
Pavatex Pavadentro		166	0.91	2100	0.043	10
Plywood Board		500	0.5	1500	0.1	700
redstone mineral insulation board Pura		112	0.94	850	0.043	5.2
Remmers iQ-Fix		1313	0.5	863	0.497	18.7
Remmers iQ-Therm		44.5	0.98	1400	0.031	69
Remmers iQ-Top		465.5	0.81	1173	0.106	8.4

Slika 2: V bazi podatkov materialo obstajajo tudi izdelki razno raznih proizvajalcev.

Poleg tega, da lahko sami izdelo konstrukcijskih sklop ima program že vnesene različne variante konstrukcijskih sklopov zunanjih sten, streh, stropov, itd. Ko izberemo želeno varianto nam avtomatsko izračuna toplotno prehodnost in upor konstrukcijskega sklopa (Slika 3).



Layer Name: Concrete, w/c=0.5 Thickn. [m]: 0.07

Exterior (Left Side): 0.07 Interior (Right Side): 0.01

0.03 0.12

Material Database Example Cases

Grid: Automatic (II) 70 Medium

Copy Auto. Grid Def. for Manual Editing

Total Thickness: Thickness: 0.23 m

Total Thermal Performance: R-Value: 0.89 m²K/W U-Value: 0.932 W/m²K

Material Data Sources, Sinks New Layer Duplicate Delete

Edit Assembly by: Graph Table

Slika 3: Izbran konstrukcijski sklop.

Ko izberemo (izdelamo) konstrukcijski sklop sledi izbira orientacije. To pomeni npr., da če smo izdelali zunanjo steno jo lahko pozicioniramo v smeri želene orientacije. Poleg tega lahko konstrukcijskemu sklopu določimo tudi naklon, ter višino stavbe na kateri bo ta konstrukcijski sklop nameščen.

The image shows a software interface with three main sections:

- Orientation:** A circular compass rose with cardinal directions N, S, E, W. A thick brown bar is positioned horizontally across the center, pointing West. Below the compass is a dropdown menu with "South" selected.
- Inclination:** A diagram of a vertical brown wall on the left and a horizontal line on the right. A yellow arc indicates an angle between the wall and the horizontal line. Below the diagram is a text field "Inclination [°]" containing the value "90" and a small up/down arrow control.
- Building Height/Driving Rain Coefficients:**
 - A checkbox labeled "Rain load calculation according to ASHRAE Standard 160" is unchecked.
 - An icon shows a small house with a red roof on the left and a taller, multi-story building on the right, with a yellow arrow pointing from the house to the taller building.
 - Input fields for "R1 [-]" with value "0" and "R2 [s/m]" with value "0.05".
 - A "Note:" section containing the formula: $\text{Rain Load} = \text{Rain} * (\text{R1} + \text{R2} * \text{Wind Velocity})$
 - A dropdown menu at the bottom with the text "Tall Building, lower part, up to 10 m".

Slika 4: Izbira orientacije, naklona in vrste stavbe na kateri imamo nameščen konstrukcijski sklop

Program omogoča presenetljivo natančno upoštevanje razno raznih dejavnikov. Tako v izračunih upošteva prestopni koeficient zraka na zunanji in notranji strani. Omogoča ročno vnašanje prestopnih koeficientov ali pa ga celo upošteva v odvisnosti od vetrnih karakteristik izbrane lokacije! Poleg tega v izračunih upošteva še reflektivnost zunanjih površin na lokaciji (Slika 4).

Exterior Surface (Left Side)

Heat Resistance [m2K/W] 0.0588 External Wall

includes long-wave radiation parts [W/m2K] 6.5

wind-dependent ...

Sd-Value [m] --- No coating
Note: This setting does not affect rain absorption

Short-Wave Radiation Absorptivity [-] --- No absorption/emission

Long-Wave Radiation Emissivity [-] ---

Explicit Radiation Balance ...
Note: This option takes radiative cooling due to long-wave emission into account. Sensitive cases may require sufficiently accurate counterradiation data in the weather file.

Ground Short-Wave Reflectivity [-] 0.26 Green grass

Adhering Fraction of Rain [-] 0.7 Depending on inclination of component

Interior Surface (Right Side)

Heat Resistance [m2K/W] 0.125 (External Wall)

Sd-Value [m] --- No coating

Slika 5: Izbira prestopnih koeficientov,refleksivnosti glede na okoliško površino, itd.

Nato izberemo začetne podatke pri katerih začne program preračunavati naš konstrukcijski sklop. Zanimata ga relativna vlažnost v konstrukcijskem sklopu, ter notranja temperatura prostora. Relativno vlažnost lahko izbiramo ločeno za vsak material ali pa enostno za celoten konstrukcijski sklop.

Initial Moisture in Component

Constant Across Component

In each Layer

Initial Relative Humidity [-] 0.8 Initial Temperature in Component [°C] 20

Initial Water Content in Different Layers

No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m3]
1	Concrete, w/c=0.5	0.07	85.0
2	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 30kg/m3)	0.03	1.79
3	Concrete, w/c=0.5	0.12	85.0
4	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	0.01	6.3

Slika 6: Izbira začetne relativne vlažnosti in notranje temperature. Nastavljena je možnost konstantne relativne vlažnosti čez celoten konstrukcijski sklop.

Sledi izbira časovnega obdobja za katerega želimo, da nam program izvaja izračune. Izberemo lahko tudi časovni korak prikazovanja izračunov (Slika 7).

Calculation	Profiles	Date	Hour
Start	Profile 1	10/1/2014	12:00:00 AM
End	Profile 2	10/1/2016	12:00:00 AM
		1/15/2014	12:00:00 AM

Time Steps [h]

Slika 7: Izbira časovnega obdobja in korakov prikazovanja podatkov.

Izbrati je potrebno, kaj naj program računa (ali samo izračun transporta toplote ali samo vlage ali pa oboje). Poleg tega lahko izbiramo ali naj pri izračunu prehoda toplote upošteva konstantne vrednosti vlage in temperature ali pa naj toplotna prehodnost zavisi tudi od temperature in vlage posameznega materiala (Slika 8).

Mode of Calculation

Heat Transport Calculation

Moisture Transport Calculation

For Thermal Conductivity

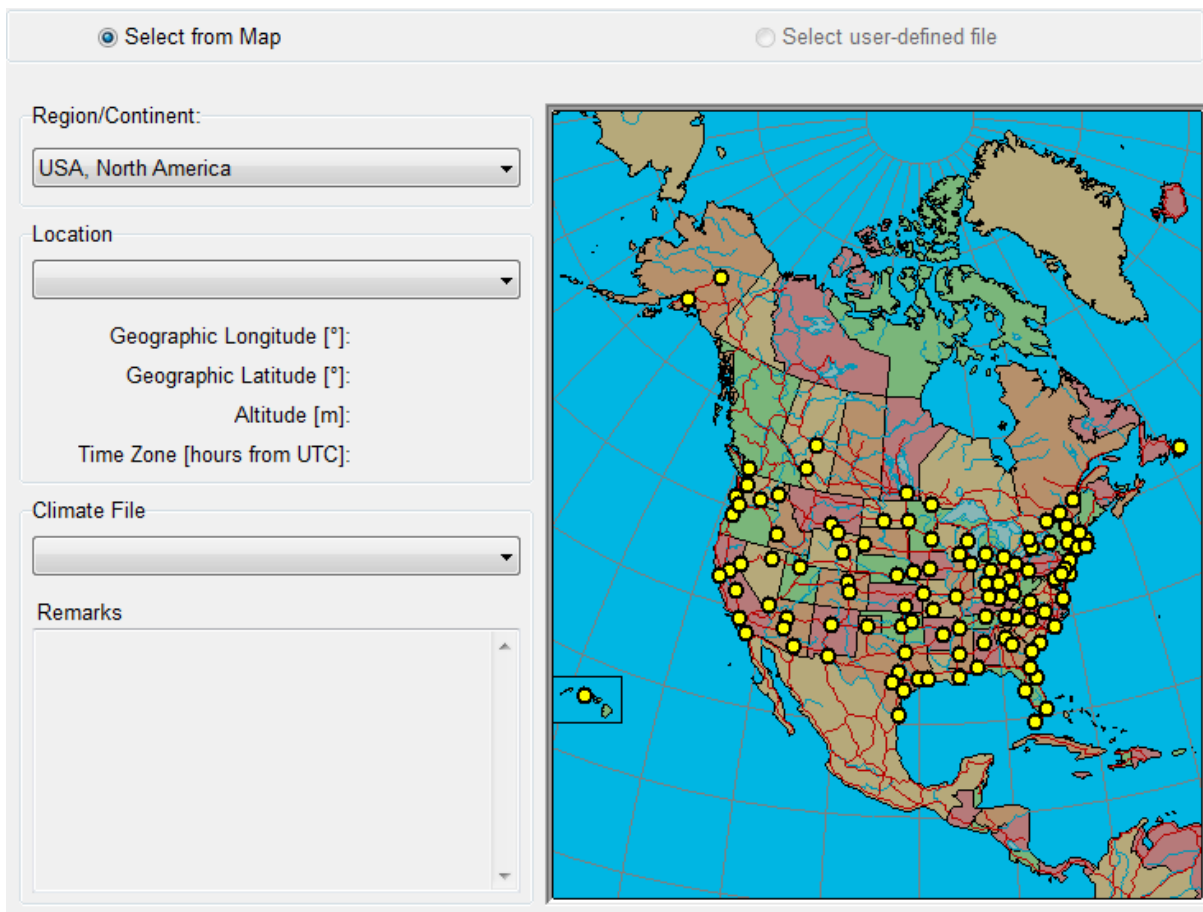
Use temperature and moisture dependency

Use constant Design Value

Slika 8: Izbira modela izračuna

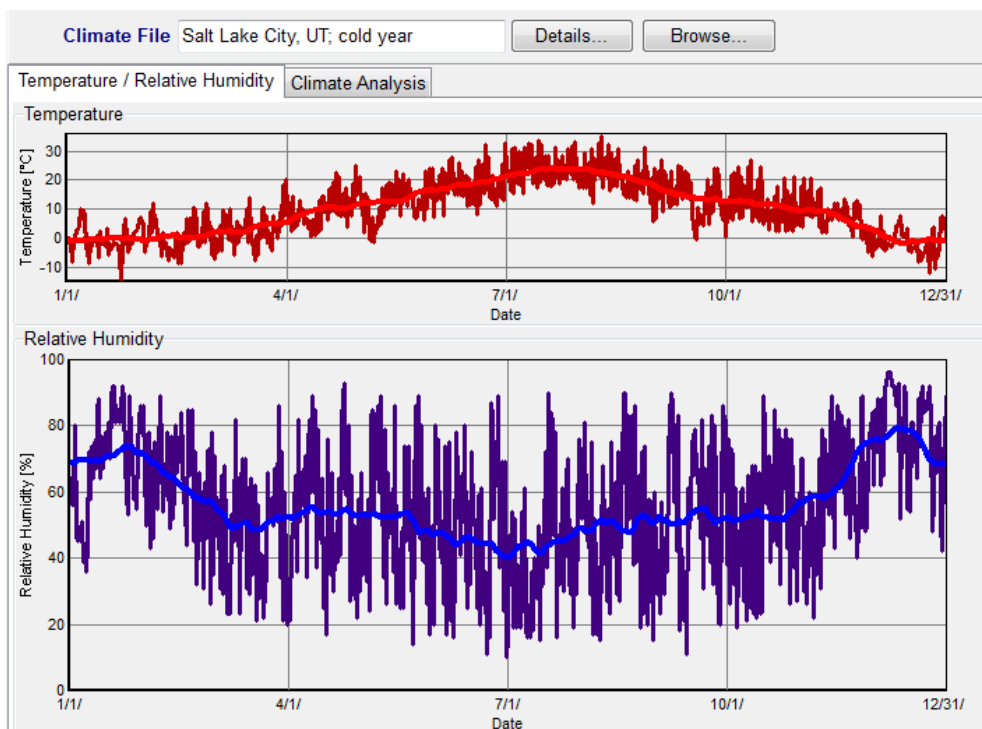
Na koncu je potrebno izbrati še zunanjo in notranjo klimo.

Zunanjo klimo izberemo tako, da izberemo kraj za katerega program pozna klimatske podatke. Ker nimamo polne verzije lahko izbiramo samo kraje v Združenih Državah Amerike (Slika 9).



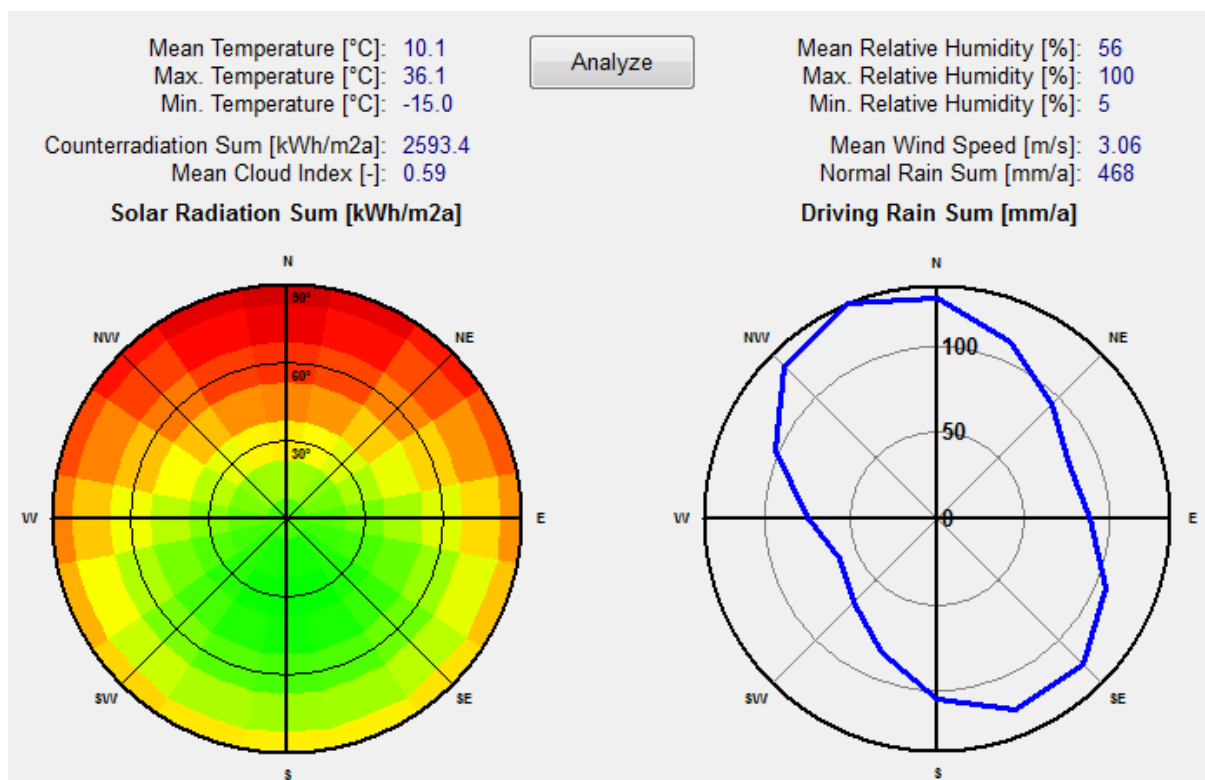
Slika 9: Izbira lokacije.

Za izbrano lokacijo program pozna temperaturo in relativno vlažnost zraka čez celotno leto (Slika 10).



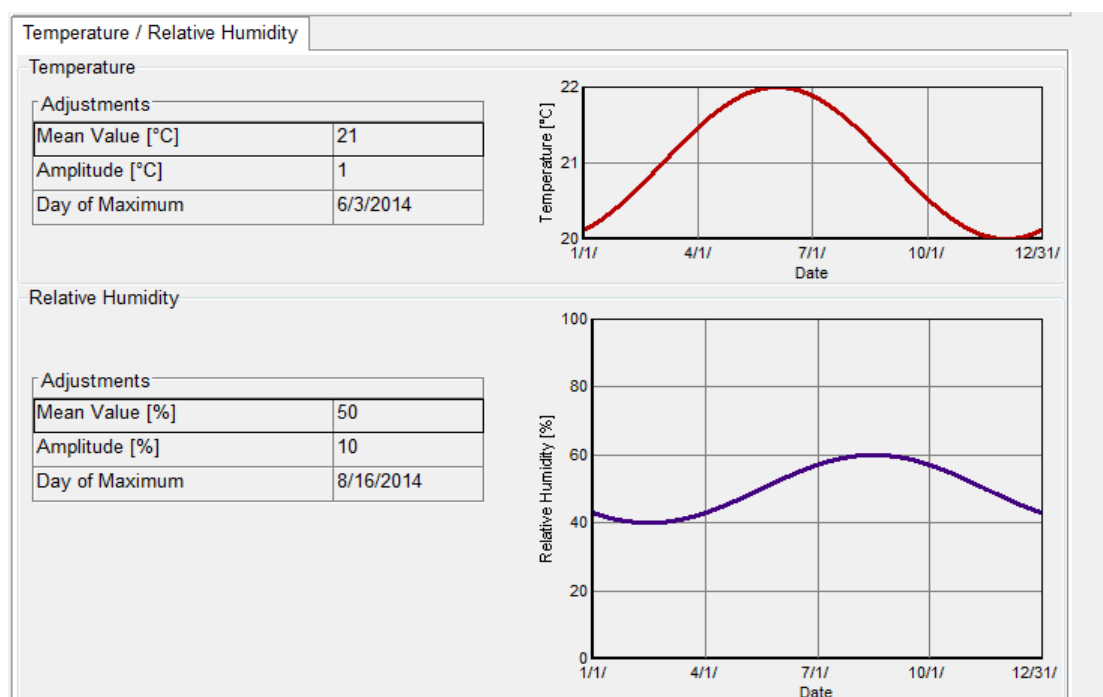
Slika 10: Temperatura in relativna vlažnost izbrane lokacije (Izbrali smo Salt Lake City).

Za izbrano lokacijo program izvede tudi analizo letne količine sončnega sevanja na fasado in izračun letne količine padavin na fasado, v odvisnosti od orientacije fasade (Slika 11).



Slika 11: Analiza letne količine sončnega sevanja in letne količine padavin na fasado, v odvisnosti od orientacije.

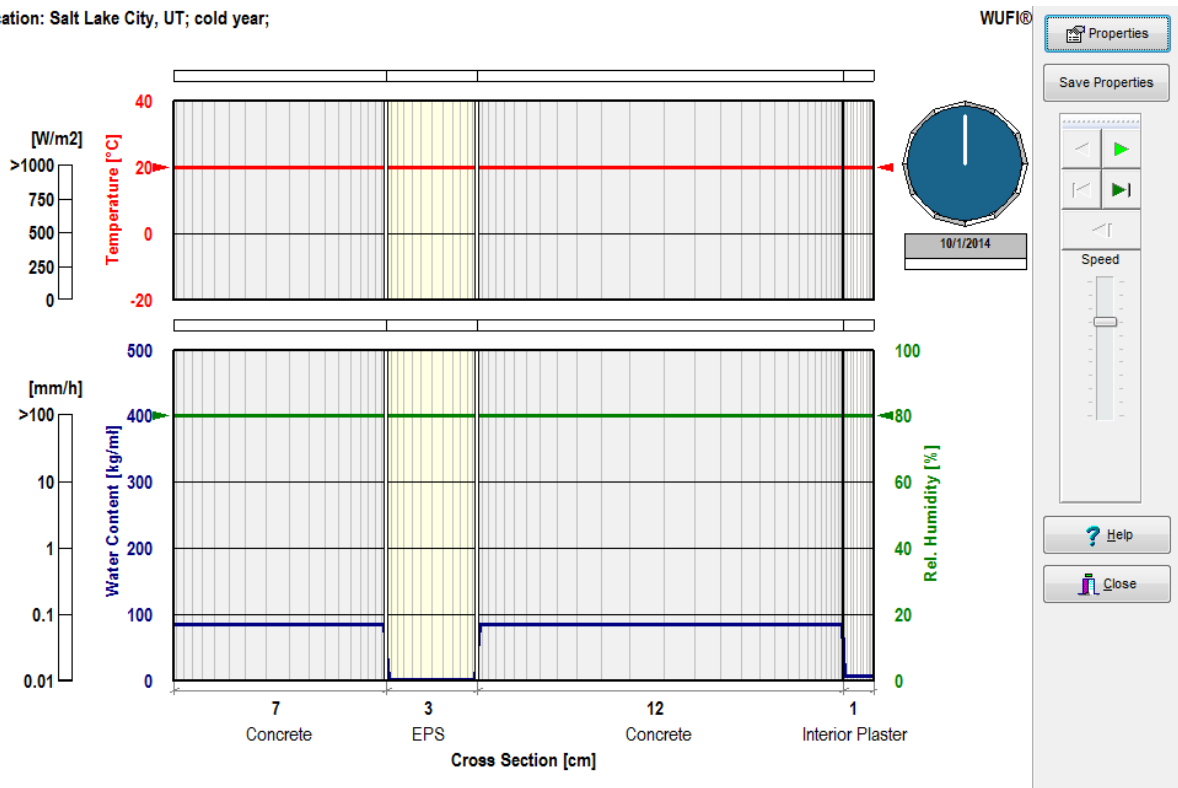
Notranjo klimo prostora program analizira za tri različne variante (različni standardi). Tudi za notranjo klimo predpostavi spremenljive vrednosti temperature in relativne vlažnosti tekom celotnega leta (Slika 12).



Slika 12: Predpostavljena poteka temperature in relativne vlažnosti v prostoru tekom leta.

Nato ima program dovolj vhodnih podatkov, da lahko izvede izračun. Glede na časovno obdobje za katerega želimo izvajati analize nam program računa spreminjanje temperature po konstrukcijskem sklopu, vsebnost vlage v konstrukcijskem sklopu, spreminjanje relativne vlažnosti, smer toplotnih tokov in smer izhoda vlage iz zidu.

Location: Salt Lake City, UT; cold year;

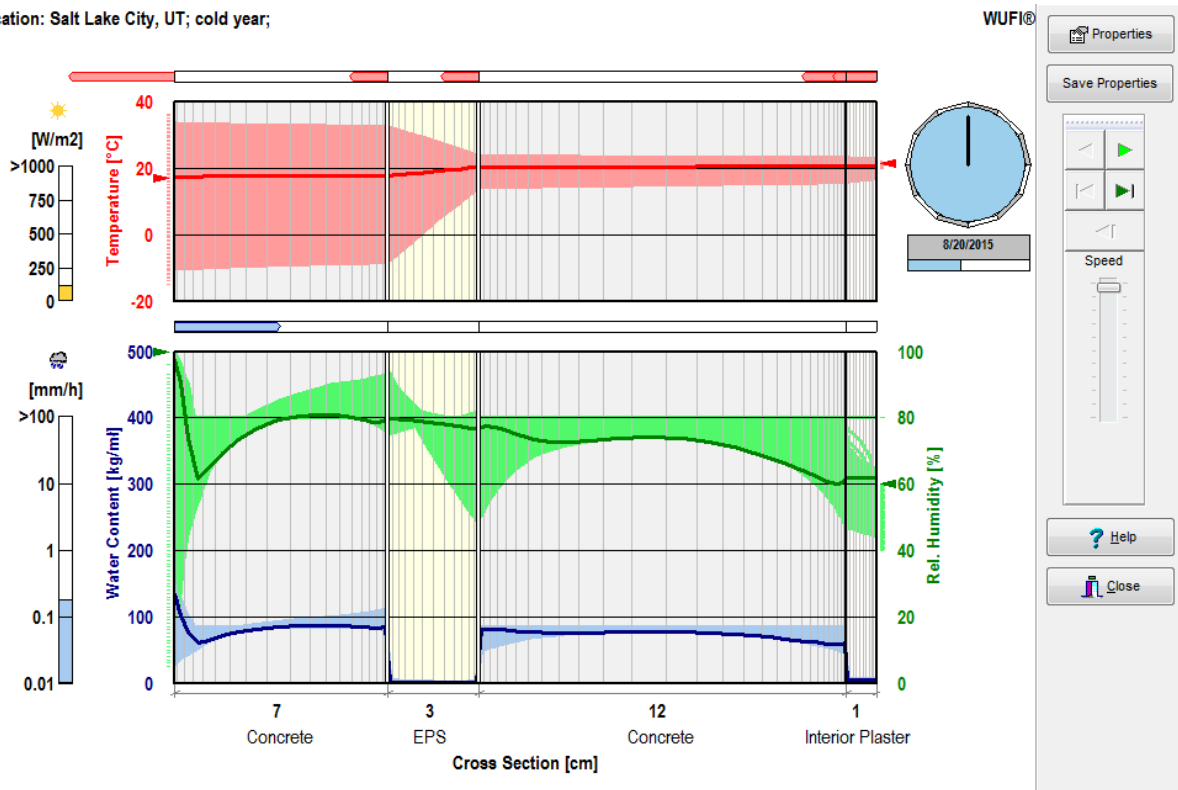


Slika 13: Začetno stanje, pred začetkom izvajanja analiz.

Na začetku analiz, program upošteva naše začetne vhodne podatke (temperatura, relativna vlažnost, vsebnost vlage v konstrukcijskem sklopu)(Slika 13)

Program prikazuje območje spreminjanja poteka temperature, sušenje ali vlaženje materiala (manjšanje ali večanje vlage v materialu) in spreminjanje relativne vlažnosti v konstrukcijskem sklopu. Poleg tega nam kaže smer toplotnega toka in smer izhajanja vode iz konstrukcijskega sklopa (Slika 14).

Location: Salt Lake City, UT; cold year;



Slika 14: Stanje med izvajanjem analiz. Fiksne linije prikazujejo trenutno stanje, obarvana področja pa območje spreminjanja do tega trenutka.

Program tekom analiz prikazuje prispevek (gostoto toplotnega toka) zaradi sončnega sevanja in količino padlih padavin na zunanjo stran konstrukcijskega sklopa.

Na koncu analiz nam program prikaže spremembo količine vlage v zidu in količino toplotnega toka skozi konstrukcijski sklop (koliko energije pridobimo ali izgubimo).

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start	End	Min.	Max.
Concrete, w/c=0.5	85.00	75.62	74.38	91.67
EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 30kg/m ³)	1.79	1.34	1.29	1.86
Concrete, w/c=0.5	85.00	67.16	65.59	85.00
Interior Plaster (Gypsum Plaster)	6.30	4.97	3.28	6.30

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side	[MJ/m ²]	-641.67
Heat Flux, right side	[MJ/m ²]	-639.63
Moisture Fluxes, left side	[kg/m ²]	-1.53
Moisture Fluxes, right side	[kg/m ²]	1.29

Slika 15: Prikaz rezultatov na koncu analiz.

3.0 ZAKLJUČKI

Program WUFI je izredno zanimiv, saj je zelo dinamičen na vseh področjih. Poleg tega, da so že sami izračuni spreminjajoči, upošteva še spreminjajoče se podatke, kot so padavine in temperaturo, ter spreminjajoče se fizikalne materialne lastosti (npr. toplotno prehodnost v odvisnosti od vlage). Program nas je zelo impresioniral in nam dobro razjasnil (pojasnil) spreminjanje količine vlage in temperature v konstrukcijskem sklopu v odvisnosti od letnega časa, lokacije in časa dneva.