Laboratorijske vaje pri predmetu Postopki konstruiranja

Leon Kos, Laboratorij za CAD - LECAD

Naloga

Izdelajte računalniški program za toplotni preračun zgradb in program za prikaz rezultatov izračuna z uporabo grafičnega standarda GKS (level 1a). Prikaz zgradbe izvedite s homogenimi transformacijami poljubnega zaporedja. Za vsak program izdelajte poročilo z opisom delovanja programa, teoretičnimi osnovami in rezultati izračuna.

1 Temperature

Slovenija je za toplotne preračune zgradb razdeljena v tri gradbeno klimatske cone. Pretežni del Slovenije leži v tretji coni, le Primorska in Goriška ležita v prvi coni. Vpliv gradbeno klimatske cone je pomemben pri določanju dopustnih toplotnih izgub gradbenih konstrukcij (tabela 2).

Klimatska cona neposredno določa računsko zunanjo temperaturo, ki so podane s srednjo letno minimalno temperaturo. Podatki v tabeli 1 so dobljeni z večletnim odčitavanjem.

I. cona	$\theta_{min} = -8°C$
II. cona	$\theta_{min} = -12°C$
III. cona	$\theta_{min} = -18°C$

Tabela 1: Računske temperature

Računske temperature notranjih (ogrevanih) prostorov so odvisne od namembnosti prostorov in parametrov bivalnega ugodja ter se gibljejo od $20°C$ za dnevne prostore do $24°C$ za kopalnice. Nebivanjski prostori in prostori v večjo fizično aktivnostjo imajo tudi nižje računske temperature.

2 Prehod toplote

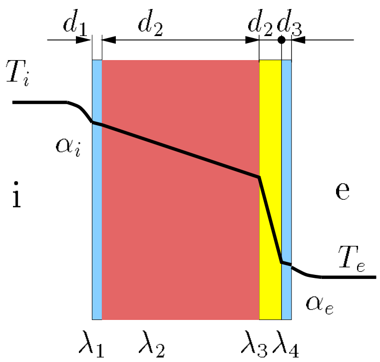
Prehod toplote skozi stene zgradbe opisuje enačba (1):

$$\Phi = Q/t = kA(T_i - T_e) \qquad (1)$$

kjer je k toplotna prehodnost, ki združuje vse oblike prenosa toplote (prevod, konvekcija in sevanje):

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \qquad (2)$$

Konvektivna toplotna prestopnost α je odvisna od površine in hitrosti zraka, ki to površino obliva. Zato ločimo konvektivno toplotno prestopnost na zunanji α_e in notranji α_i strani gradbene konstrukcije. Podatki za α_e in α_i so določeni eksperimentalno in vključujejo tudi sevalne toplotne prestopnosti. α_i in α_e za karakteristične konstrukcije so podane v tabeli 2. V gradbeništvu poznamo tudi prezračevane konstrukcije, pri katerih upoštevamo posamezne materiale od notranjosti do vmesnega zračnega sloja. Pri takih konstrukcijah je konvektivna toplotna prestopnost α_e le polovična.



Slika 1: Prehod toplote skozi izolirano steno

Toplotna prevodnost λ je snovna lastnost materiala, dobljena z meritvami po standardiziranih postopkih. Vsebnost vlage v materialu lahko bistveno vpliva na toplotno prevodnost predvsem toplotnih izolatorjev, zato standardi predpisujejo tudi kontrolo navlaževanja konstrukcij z difuznim prehodom vodne pare. Zaradi tega se pri tleh na terenu upošteva le toplotne prevodnosti slojev do hidroizolacije.

Zaradi enostavnejšega računanja največkrat predpostavimo, da so gradbene konstrukcije homogene. Enačba toplotne prehodnosti za večslojne gradbene konstrukcije (2) se tako uporabi za izračun toplotnih izgub prostorov v zgradbi. Zahtevnejši računi pa upoštevajo tudi nehomogenost in linijske izgube v konstrukcijah.

3 Toplotni izračun zgradb

Znanih je več metodologij izračuna toplotnih izgub. Točne izračune se dobi predvsem za izračun homogenih konstrukcij. Izračun zgradb je zahtevnejši in največkrat ne vsebuje izračuna detajlov. Nekateri preračuni zgradb so tudi standardizirani (DIN4701/1982, JUS U.J5.510) in na različne načine upoštevajo podrobnsti kot so okna, vrata, neogrevane prostore, dodatke za strani neba, izravnavo obodnih površinskih temperatur, izgub zaradi prezračevanja in (ne)tesnjenja oken in vrat.

Natančen izračun je možen le s simulacijo na računalniku z upoštevanjem vseh podrobnosti. Uporaba računalnika lahko v veliki meri olajša delo projektantu že pri enostavnih izračunih, saj je potrebno veliko rutinskega dela, ki ga lahko ustrezen program enostavno opravi. Grafična kontrola rezultatov programa pa omogoča hitro odkrivanje napak pri vhodnih podatkih.

3.1 Vhodna datoteka

Poznavanje fizikalih lastnosti zgradbe je osnova za toplotni izračun. Projektant naj bi programu podal le najnujnejše podatke. Vse ostale podatke potrebne za izračun pa naj bi program izpeljal sam ali pa jih poiskal v ustreznih tabelah (snovne lastnosti, dovoljene upornosti). Opis zgradbe s tekstovno datoteko je pri raznih preračunih primeren zaradi enostavnega vnosa, večkratnega preračunavanja in arhiviranja.

Vhodna datoteka naj bi imela strukturo vhodih podatkov tako, da bi upoštevala naslednje dejavnike vnosa:

- nabor vhodnih podatkov naj bo čim manjši
- vhodni podatki naj se ne podvajajo
- datoteka naj bo enostavno berljiva za človeka kot tudi za program
- strukura mora omogočati vnos za večino zgradb, tudi za najbolj zahtevne zgradbe
- vhodni podatki naj omogočajo tudi enostavno grafično kontrolo rezultatov

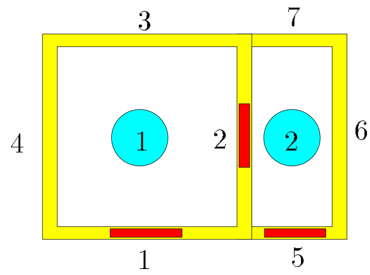
Iz enačbe 1 je razvidno, da potrebujemo za izračun prostorov zgrabe snovne lastnosti konstrukcije k, površino A (stene, tla, strop) in temperaturo v in izven prostora. Z ustrezno hierarhično zgradbo lahko izpolnimo večino naštetih dejavnikov. Osnovni gradnik prostorov naj bo pravokotna površina, podana z dvema diagonalnima točkama v 3D prostoru. Iz položaja obeh točk se lahko razbere ali je to vertikalna, horizontalna ali poševna površina. Če si prostori delijo površino (ista številka površine), potem se upošteva temperatura sosednjega prostora in ne zunanja projektna temperatura.

Hierarhija in način izračuna narekuje naslednje zaporedje v vhodni datoteki:

1. Naziv izračuna, klimatska cona, projektna zunanja temperatura.
2. Konstrukcije zidov, tal in stropov. Vsaka konstrukcija ima številko, naziv, številko karakterističnega tipa konstrukcije za kontrolo dovoljene prehodnosti (tabela 2). Sledi opisni seznam materialov slojev v smeri od notranjosti proti zunanjosti, s podajanjem debeline vsakega sloja v cm.
3. Popis površin prostorov. Podaja se številka površine, številka konstrukcije in diagonalni točki .
4. Odprtine v površinah (okna in vrata). Številka odprtine, številka površine, toplotna prehodnost k, diagonalni točki in naziv.
5. Prostori. Številka prostora, temperatura, število površin, naziv, seznam površin.

Ob znanih podatkih je tako možna kontrola dovoljenih toplotnih prehodnosti konstrukcij in izračun toplotnega toka v prostorih.

Primer popisa zgradbe (slika 2) sestavljene iz dveh prostorov dimenzije $6 \times 4\,\mathrm{m}$ in $4 \times 2\,\mathrm{m}$:



Slika 2: Čakalnica z vetrolovom velikosti $6 \times 4\,\mathrm{m}$.

```
projekt Testna zgradba
cona 3
temperatura -10

konstrukcija 1
Zunanji zid
tip 1
Apnena malta                       2
Klinker op.-polna,izv. (1900)   25
NOVOLIT 50                         5
JUB-osnovni omet                   0.8
JUB-Teranova                       1.2


konstrukcija 2
Predelna stena
tip 2
Apnena malta                       2
Klinker op.-polna,izv. (1900)   25
Apnena malta                       2

konstrukcija 3
Tla
tip 5
Parket                             1
Cementni estrih                    3
PVC folija, mehka                  0.03
TERVOL TP - 12                     6
Bitumen                            0.4

konstrukcija 4
Ravna streha
tip 9
Betoni s kam. agregati (2200)   12
TERVOL DPP                         10
Bitumen                            0.4

povrsine 11
 1 1  0.0 0.0 0.0  4.0 0.0 2.5
 2 2  4.0 0.0 0.0  4.0 4.0 2.5
 3 1  0.0 4.0 0.0  4.0 4.0 2.5
 4 1  0.0 0.0 0.0  0.0 4.0 2.5
 5 1  4.0 0.0 0.0  6.0 0.0 2.5
 6 1  4.0 4.0 0.0  6.0 4.0 2.5
 7 1  6.0 0.0 0.0  6.0 4.0 2.5
 8 3  0.0 0.0 0.0  4.0 4.0 0.0
 9 4  0.0 0.0 2.5  4.0 4.0 2.5
10 3  4.0 0.0 0.0  6.0 6.0 0.0
11 4  4.0 0.0 2.5  6.0 6.0 2.5

odprtine 3
1 1 2.8  Okno
   1.5 0.0 1.0  2.5 0.0 2.0
2 5 3.5  Vhodna vrata
   4.5 0.0 0.0  5.5 0.0 2.0
3 2 2.5  Notranja vrata
   4.0 2.0 0.0  4.0 3.0 2.0

prostori 2
1 20.0 4 Cakalnica
  1 2 3 4
2 -5.0 4 Vetrolov
  2 5 7 6
```

3.2 Izpis rezultatov

Po branju vhodne datoteke se v izhodno datoteko formatirano zapisejo vsi prebrani podatki in rezultati izračuna. Vhodna datoteka naj ima končnico `.txt`, izhodna pa `.prn`. Pregledu vhodnih podatkov naj sledi izračun konstrukcij in zgradbe. Fizikalne lastnosti materialov naj se poiščejo v direktni datoteki, ki jo lahko naredite s prepisom datoteke `materiali.txt` v `material.bin` Pri izračunu konstrukcij je potrebno kontrolirati tudi na dopustne toplotne prehodnosti k. Toplotni izračun zgradbe naj zajema toplotni tok in izračun razmerij toplotnih tokov v konstrukcijah.

Po izračunu si lahko vhodne podatke (geometrijo) zgradbe tudi ogledamo z grafičnim delom programa, ki omogoča vse osnovne transformacije v poljubnem vrstnem redu.

4 Grafični prikaz rezultatov

Za prikaz rezultatov v programu uporabite grafični jezik GKS [5]. V ta namen uporabite homogene matrike in homogene transformacije. Omogočati mora tudi ogled prostorov s transformacijami poljubnega zaporedja: (rotacija, translacija in skaliranje v homogenih koordinatah). Ker so podatki za zgradbo tridimenzionalni, prikaz pa bo ravninski, je potrebno, da program pred prikazom vpraša, za katero višino naj se izriše tloris zgradbe.

Osnovni program, ki demonstrira uporabo jezika GKS je:

```
      program GKS skeleton
      implicit none
      real x(3)  /-200.0, 350.0, 250.0/
      real y(3)  /-200.0, 300.0,-250.0/
      real kx(2) /0.0, 100.0/
      real ky(2) /50.0, 120.0/
      character*80 datrec(1)
c     Odpre GKS (Gks OPen gKS)
      call gopks()
c     Nastavitev zaslonskih koordinat
c     (Gks Set WorKstation ViewPort)
      call gswkvp(1, 20.0, 50.0, 600.0, 450.0)
c     Nastavitev uporabniskega koord. sistema
c     (Gks Set WiNdow)
      call gswn(1, -300.0, -300.0, 400.0, 400.0)
c     Izris lika z dvema crtama
c     (GksSetPolyLineColorIndex, GksPolyLine)
c     Indeksi:1 modra, 2 zelena, 3 cyan, 4 rdeca,
c             5 violicna, 6 rjava, 7 bela, 8 siva,
c             9 svetlomodra, ..., 14 rumena, 15
      call gsplci(3)
      call gpl(3, x, y)
c     Izris teksta (GksSetCharacterHeight,
c     ...TextColorIndex, GksTeXt)
      call gstxci(14)
      call gschh(20)
      call gtx(-250.0, 300.0, 'GKS skeleton')
c     Izris kroga
c     (Generalized Drawing Primitive)
      call gdp(2, kx, ky, -1, 1, datrec)
c     Zapre GKS (Gks CLose gKS)
      call gclks()
      end
```

5 Fortran

Tu bom prikazal standardne posebnosti v Fortranu, ki jih boste s pridom uporabili pri programiranju. Priporoča se tipkanje programa z malimi črkami, saj je tako kodiran program bolj čitljiv.

Formatne stavke vključene lahko vključimo v ukaz `read` ali `write`:

```
character ime*65
write(*, '('' Ime vhodne datoteke: '', $)' )
read(*,'(A)') ime
```

Datoteke delimo na tekstovne in binarne. Direktna datoteka je poseben primer binarne datoteke, ki ima fiksno dolžino zapisa (record). Fortran omogoča branje/pisanje v prostem formatu (*), uporabniškem formatu (format()) in brez formata (samo v binarne datoteke). Neformatirano direktno datoteko z dolžino enega zapisa 58 bytov se odpre z ukazom

```
      open(1, 'materiali.bin', status='UNKNOWN',
     * access='DIRECT', form='UNFORMATTED',
     * recl=58)
```

Dolžina enega zapisa RECL se določa z maksimalno velikostjo zapisa v datoteki. Zapisi imajo lahko različne vsebine podatkov, dolžina zapisa pa je fiksna zaradi hitrejšega določanja pozicije datotečnega kazalca. Določi se jo s seštevkom dolžine vseh spremenljivk in upoštevanjem, da zavzame realna spremenljivka 4 byte, celoštevilčna 2, znakovna pa toliko, kolikor znakov ima rezerviranih.

Za branje in pisanje enote se uporablja standardni read/write stavek brez podatka o formatu.

```
write(1, rec=2) naziv, k_mat
read(1, rec=2)  naziv, k_mat
```

Pri vseh branjih in pisanjih se lahko testira napaka ob konverziji ali napaka na vhodno/izhodno enoti s parametrom `err`. Primer:

```
    integer cona
    character*80 line
    ...
    read(2, '(A)') line
    if (line(1:4) .eq. 'cona') then
       read(line(5:80), '(I10)', err=102) cona
    end if
    ...
    return
102 stop 'Napacen podatek za temperaturno cono!'
    end
```

Fortran omogoča pisanje in branje v svoje interne enote v obliki `character` polja. To nam omogoča pretvarjanje numeričnih spremenljivk v znakovne. Največkrat se to uporablja za podprograme, ki zahtevajo kot parameter znakovno spremenljivko, na voljo pa imamo le numerično spremenljivko. Tipičen primer uporabe je izpis teksta v jeziku GKS. Primer:

```
character cnode*3
integer node
...
write(cnode, '(I3)') node
call gtx(x, y, cnode)
end
```

6 Splošna priporočila za delo

Noben program ne deluje na mah. Ker je problem kompleksen, se ga je potrebno lotiti sistematično. Posamezne dele program moramo sproti kontrolirati. Pomembno je tudi dokazovanje pravilnosti delovanja, kjer si logično razlagamo obnašanje programa za različne vhodne parametre. Švejkova metoda pri problemih, kot je naš, nikoli ni bila uspešna.

Fortran ima to (ne)ugodno lastnost, da so vse premenljivke ob začetku postavljene na nič. Po končanem delu brišite z (`del`) vse nepotrebne datoteke, ki jih imate na svojem področju.

7 Poročilo

Poročilo se oddaja v dveh delih, prvi za numerični program, drugega za grafični del. V poročilu opišite problem, ki ga rešujete (zahteve), podajte teoretične osnove in bistvene dele rešitve, ki ste jih uporabili v programu. Izpisa programa ni potrebno prilagati, potrebno pa je predstaviti pomembne dele programa na način, ki čimbolj jasno predstavlja rešitev. To je lahko z besednim opisom, diagramom poteka ali z delom programske kode. Priložite tudi rezultate izračuna zgradb, ki ste jih izračunali. Celotno poročilo naj ima klasično obliko (uvod, zahteve, teoretične osnove, problemi, rezultati, možne izboljšave, zaključek, literatura, priloge). Izberite si primer in na njem pokažite reševanje problema. Diskutirajte izboljšave programa, kot tudi omejitve, ki so posledica vgrajenih algoritmov (velikost matrik, stabilnost, ...). Torej: poročilo mora biti napisano tako, da je možno iz njega rekonstrurirati program. Pišite čitljivo; priporočen je izpis s tiskalnikom. Ovojnico za poročilo dobite pri vratarju (Računalniško podprto konstruiranje).

Literatura

[1] Kraut Bojan. *Strojniški priročnik.* Strojniški vestnik, Ljubljana, 1981.

[2] Mac Cracken and Daniel D. *Numerical Methods and FORTRAN Programming with Applications in Engineering and Science.* John Wiley, New York [etc.], 1964.

[3] Dragan Domazet. *Programiranje računarske grafike pomoću GKS sistema.* Naučna knjiga, Beograd, 1989.

[4] Divjak J. Dovedan Z. *Fortran 77 s tehnikama programiranja.* Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije, Ljubljana, 1988.

[5] Kansy K. Plaff G. Enderle G. *Computer Graphics Programming.* Springer-Verlag, New York, 1984.

[6] Sašo Medved. *Toplotna tehnika v zgradbah.* Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, Ljubljana, 1993.

[7] Teague Robert. *Computing problems for FORTRAN solution.* Canfield Press, San Francisco [etc.], 1972.

Laboratorij za CAD, Soba N-17. Govorilne ure za študente so od ponedeljka do četrtka od 13^{00} do 14^{00}. Prosimo, da se držite razporeda urnika. Nadomeščanje zamujenih laboratorijskih vaj načeloma ni možno zaradi zasedenosti računalniške učilnice. Pred vajami na računalniku si pripravite gradivo za delo, da ne boste gledali v zrak (k sosedu).

Ljubljana, 28. november 1996

Typeset in LaTeX 2_ε

Št.	Vrsta konstrukcije	k_{maxI}	k_{maxII}	k_{maxIII}	α_i	α_e
1	Zunanji zidovi ali zidovi proti neogrevanemu stopnišču	1.2	0.9	0.8	8	23
2	Predelni zidovi med stanovanji in proti ogrevanemu stopnišču	1.95	1.85	1.6	8	8
3	Zunanji zidovi pod tlemi	1.2	0.9	0.8	8	1E+12
4	Stropna konstrukcija med stanovanji	1.35	1.35	1.35	8	8
5	Tla na terenu	0.9	0.75	0.65	6	1E+12
6	Stropna konstrukcija proti podstrešju	0.95	0.8	0.7	8	23
7	Stropna konstrukcija nad kletjo	0.75	0.6	0.5	8	6
8	Stropna konstrukcija nad odprtim prehodom	0.5	0.45	0.4	6	23
9	Ravne in poševne strehe - stropi nad ogrevanimi prostori	0.75	0.65	0.55	8	23
11	Prezračevani zunanji zidovi	1.2	0.9	0.8	8	11.5
19	Prezračevane strehe nad ogrevanimi prostori	0.75	0.65	0.55	8	11.5

Tabela 2: Dovoljene toplotne prehodnosti k za posamezne klimatske cone in konvektivne toplotne prestopnosti na notranji α_i in zunanji α_e strani konstrukcije