

UDK 620.9

## Računalniško podprt energijsko knjigovodstvo Computer Supported Energy Bookkeeping

VINCENC BUTALA – JOŽE ZUPANČIČ – PETER NOVAK

*Gospodarjenje z energijo postaja vse pomembnejše. Lotiti se je treba integralnega načrtovanja energetike in uvedbe energetskega menedžmenta. Energetsko knjigovodstvo poenostavi delo menedžmenta pri smotrni rabi energije.*

*Energy-use surveillance gets more and more on importance. The approach to integral energy-use planning and introduction of energy management is crucial. Energy bookkeeping makes the work of energy management for efficient energy-use highly simplified.*

### 0. UVOD

Gospodarjenje z energijo postaja v zadnjem času zaradi ekoloških problemov, pa tudi energijskih stroškov uporabnikov, vse bolj aktualno, ob vse večjem narodno-gospodarskem pomenu.

Pokrivanje naraščajočih energijskih potreb v prihodnje preprosto ne bo več mogoče. Za to obstaja vrsta omejitvenih dejavnikov:

- omejeni energijski viri fosilnih goriv,
- vse večja onesnaženost okolja (voda, zrak, zemlja),
- povečane potrebe po kapitalu za nove investicije v energijsko infrastrukturo,
- povečane potrebe zaradi naraščajočega števila prebivalstva,
- drugi bolj ali manj pomembni omejitveni dejavniki (npr. prostor, ekomska, davčna politika itn.).

S smotrno rabo energije (SRE) in varčevalnimi ukrepi (zmanjšanje energijskih izgub, zamenjavo goriv, dodatno toplotno zaščito, regeneracijami toplote, avtomatsko regulacijo in podobnimi ukrepi) je mogoče pri uporabi energije z majhnimi investicijami zelo hitro doseči energijske prihranke od 10 do 20 odstotkov [1].

Vemo, da je slovenska energijska odvisnost že danes večja od 60 odstotkov, v prihodnosti pa pričakujemo večjo od 70 odstotkov. Zato je treba ukrepati takoj, preden postane energija tako draga, da je ne bomo mogli uvoziti dovolj. V prvi fazi je treba izbirati tiste ukrepe, s katerimi dosežemo varčevalne učinke brez investicij ali pa se investicije povrnejo v razmeroma kratkem času enega leta. V drugi fazi je treba zajeti ukrepe z investicijami, ko se vlaganja povrnejo pred iztekom dobe trajanja, v primerih, ko gre za izboljšanje ekoloških okoliščin bivanja pa tudi po tem času.

### 0. INTRODUCTION

Administering an energy-use field has recently become more and more important due to ecological problems and user energy costs together with a growing national economic importance of energy use.

It will not be possible in the future simply to cover energy demands, because of a number of factors:

- limited fossil fuel sources,
- growing environment pollution (water, air, soil),
- increased capital demand for new investments into energy infrastructure,
- increased demand due to population-growth,
- other more or less important limiting factors (e.g. space, tax-policy etc.).

With efficient energy use (EEU) and energy saving measures (reducing of energy losses, fuel replacement, additional heat insulation, heat recovery, automatic regulation etc.) it is possible to achieve energy savings up to 20 % [1] at relatively small costs.

The energy dependence of Slovenia is today more than 60 % and more than 70 % is expected in the future. It calls for immediate action before the energy becomes too expensive to be imported in sufficient quantities. In the first phase, those measures should be taken which enable energy savings at no cost or those which enable short term repayment (e.g. one year). In the second phase, come measures where the repayment time is shorter than the life time of measures taken (in the case of measures taken for improving environmental conditions for dwelling, the repayment time can exceed the life time of measures taken).

S predstavljenim računalniško obdelavo je mogoče opraviti sistematičen pregled ukrepov v stanovanjskih, industrijskih, upravnih in drugih objektih, na področju transporta, skratka na vseh področjih rabe energije.

Kakšne so pravzaprav možnosti za varčevanje z energijo? V Sloveniji kažejo zadnje raziskave [2], [3], da smo v letu 1989 od vse razpoložljive končne energije 161 363 PJ rabilni za široko porabo 47 098 PJ oziroma 29,2 odstotka. Žal ni podatkov o strukturi rabe končne energije po posameznih področjih (na primer zdravstvo, prosveta, uprava itn.). Lahko pa ocenimo to rabe približno iz rabe v gospodinjstvih:

- ogrevanje okoli 72 odstotkov,
- sanitarno vodo okoli 11 odstotkov,
- kuhanje okoli 6 odstotkov,
- razsvetljavo in druge električne naprave okoli 11 odstotkov.

Od tod je razvidno, da imamo največje možnosti za prihranke na področju ogrevanja (vključno s prezračevanjem in klimatizacijo) – torej v ogrevalnih, prezračevalnih in klimatizirnih (OPK) sistemih. V [4] je podana ocena, da je mogoče v nekem objektu splošne porabe (široke porabe) predvsem v sektorjih ogrevanja, hlajenja, prezračevanja in klimatizacije (OHPK) v povprečju prihraniti okoli 30 odstotkov. V drugih sektorjih porabe so možnosti za hitro in učinkovito zmanjšanje porabe manjše.

## 1. ENERGIJSKO GOSPODARJENJE

Varčevanje, učinkovita izraba energije ter smotrna raba energije so postali vsakdanja skrb posameznika, strokovnjakov pa tudi menedžmenta. V razvitih državah so prišli do spoznanja, da optimalnih sprememb končne v koristno energijo ne dosegamo brez kontinuiranega menedžmentskega truda [5], [6], [7]. Energijski menedžment se prične z obveznostjo in podporo vodstva menedžmenta v organizaciji. Da bo energetski menedžment prodoren in uspešen, mora biti organiziran z enakim poudarkom kakor drugi pridobitniški menedžmentski centri.

Uspeh energijskega menedžmenta je v celoti odvisen od interesa in motivacije ljudi, ki opravljajo energijski menedžmentski program. Udeležba in sodelovanje sta ključni sestavini. Oddelek energijskega menedžmenta mora biti primerno spodbujan za izvedbo energijskega programa, s tem da je obveščen in razmišlja o:

- količini energije, ki jo uporablja,
- stroških,
- možnih prihrankih energije,
- razmerju med obsegom proizvodnje in rabljeno energijo,
- doseganjem višjih koristi in ciljev, na primer povečanje ugodja, produktivnosti itn.

With the presented computer treatment of energy use, it is possible to perform a systematic energy use survey in buildings, industrial and other facilities, in the transportation field etc.

What are, however, the possibilities for energy saving? For Slovenia, recent research [2], [3] shows, that in 1989, 47,098 PJ (29.2%) of total final energy (161,363 PJ) was for public use. For the present, there is no data on final energy use for other fields (e.g. in health facilities, education, administration etc.). However, it is possible to estimate this energy use based on data of energy use in domestic sector:

- 72 % for heating,
- 11 % for sanitary hot water,
- 6 % for cooking,
- 11 % for lighting and other domestic appliances using electricity.

It is evident from this data that the largest energy saving potential lies in heating (together with ventilating and air-conditioning) — HVAC systems. From [4] it is evident that energy savings up to 30% on average can be achieved in the HVAC sectors of a given public facility. The possibilities of quick and efficient energy savings in other sectors are smaller.

## 1. ENERGY MANAGEMENT

Energy savings and efficient energy use have become the objects of common concern for individuals, experts and administrations. In developed countries, it is known that optimum conversion of final energy into useful energy cannot be achieved without continuing efforts on the part of management [5], [6], [7]. Energy management starts with the commitment and the support of top executives structure in an organization. If energy management is to become effective and successful, it has to be organized and supported in the same way as other profit management centers are.

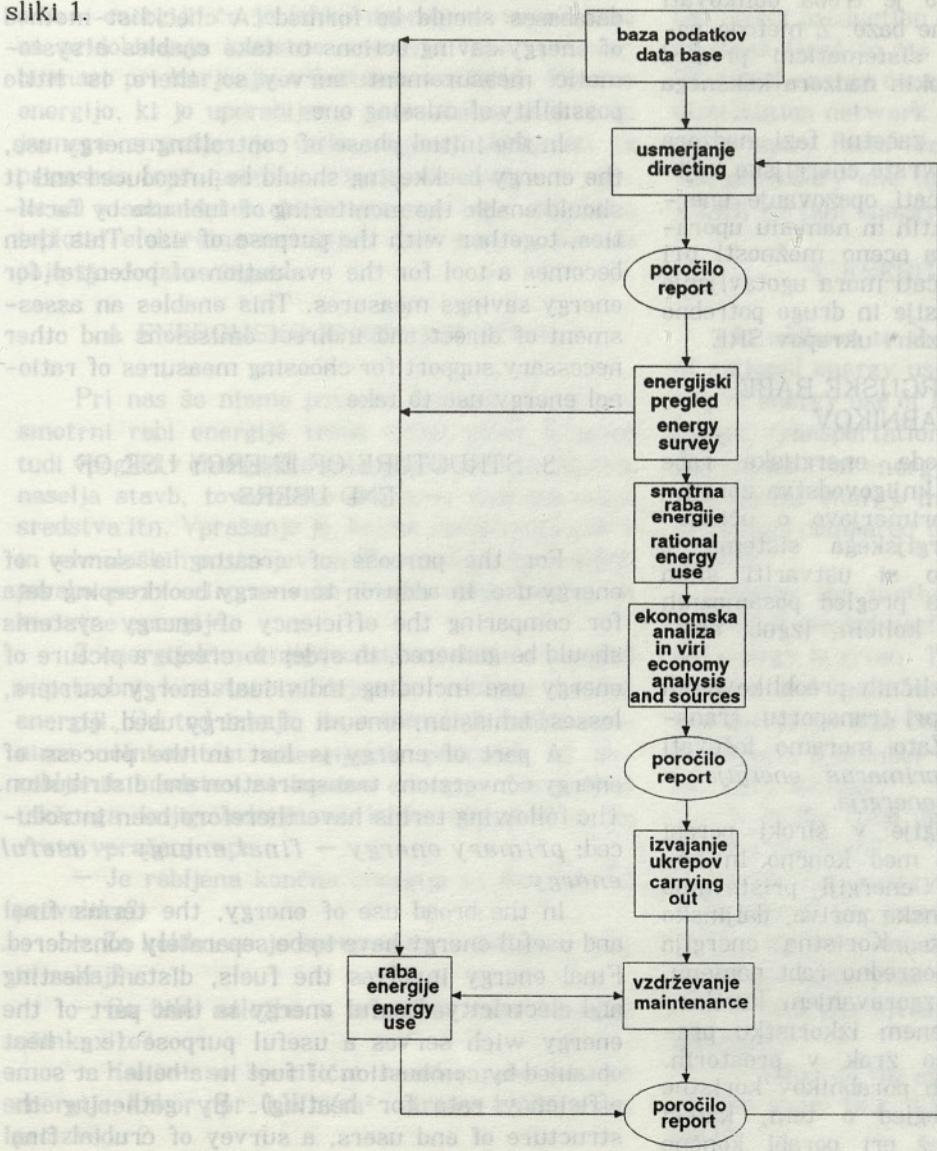
The success of energy management depends primarily on the interest and motivation of the people involved in the process of carrying out the program. Participation is the crucial part. The energy department responsible for energy management must be properly stimulated for carrying out the program. It must be well informed and must consider:

- amount of energy being used,
- costs,
- possible energy savings,
- ratio of production and energy used for it,
- achievement of higher goals and benefits (e.g. increase of comfort, productivity rate etc.).

Motivacija in spodbujanje vseh zaposlenih ljudi naj bosta usmerjeni k izvajanju smotrne rabe energije in možnih prihrankih ter tako k opravljanju energijskega programa. Pri tem ločujemo pet poglavitnih stopenj:

- zbiranje podatkov in analizo dejanske rabe energije,
- vodenje načrtovanega, izčrpnega iskanja razpoznavanja vseh potencialnih možnosti,
- določitev, pridobivanje in razporeditev virov, potrebnih za izvajanje in vzdrževanje programa,
- izvajanje ukrepov v preudarnem vrstnem redu,
- vzdrževanje izpeljanih ukrepov in njihovih prevrednotenj, skladno s časovnim spremenjanjem funkcije objekta.

Podane osnovne naloge energetskega menedžmenta ponazorimo z algoritmom, prikazanim na sliki 1.



The motivation and encouragement of the people should be directed to the rational use of energy and an assessment of possible energy savings, which means carrying out an energy savings program which covers five stages:

- gathering and analysis of data on actual energy use,
- guiding of planned and detailed search for recognition of potential energy savings,
- pinpointing, gathering and arranging sources crucial for carrying out and sustaining the energy saving program,
- carrying out of energy saving measures in considered order,
- maintaining and revaluation of the measures taken according to changing functions of the facility over time.

The tasks of energy management are shown in the algorithm in fig. 1.

Sl. 1. Program energetskega menedžmenta.  
Fig. 1. Program of energy management.

Energijska učinkovitost in/ali smotrna raba energije ne smeta biti doseženi v škodo ugodja ali temeljnih dejavnosti organizacije. Omogočati morata normalno delo zaposlenim in/ali potek delovnega procesa.

## 2. METODOLOGIJA ZBIRANJA PODATKOV ZA ANALIZO SMOTRNE RABE ENERGIJE

Metodologija, zbiranja in obdelave podatkov za analizo omogoča določanje zmogljivosti in ukrepov v različnih objektih, glede na različne nosilce energije in različne porabnike oziroma instalacije. Med posameznimi objekti moramo znati poiskati tiste, ki so energijsko »požrešnejši« in jim pri procesu energijskega nadzora dati ustrezno prednost. V samem objektu moramo znati poiskati tiste porabnike, pri katerih so prihranki energije lahko največji. Ugotavljanje primernosti uvedbe ukrepov v skladu s pričakovanimi prihranki mora imeti tudi ustrezno podporo v ekonomskih izračunih. Zato je treba oblikovati tudi vse potrebne podatkovne baze. Z metodo popisov ukrepov omogočimo sistematični pregled ukrepov, ne da bi pri postopkih nadzora kakšnega izpustili.

Poleg tega je treba v začetni fazi nadzora energijske rabe vnesti neke vrste energijsko knjigovodstvo. To mora omogočati opazovanje energijske porabe goriv, po objektih in namenu uporabe. S tem dobimo orodje za oceno možnosti pri varčevalnih ukrepih. Omogočati mora ugotavljanje neposredne in posredne emisije in drugo potrebno (računalniško) podporo pri izbiri ukrepov SRE.

## 3. STRUKTURA ENERGIJSKE RABE KONČNIH PORABNIKOV

Za ustvarjanje pregleda energijske rabe moramo poleg energijskega knjigovodstva zbrati – tudi potrebne podatke za primerjavo o učinkovitosti primerjanega energijskega sistema z drugimi podobnimi. Želimo si ustvariti sliko energijske rabe, ki bi dala pregled posameznih nosilcev energije, njihovih količin, izgub, emisijski intenzivnosti, itn.

Del energije se pri različnih preoblikovanjih »porabi« oziroma »izgubi«: pri transportu, transformacijah, distribucijah. Zato moramo ločevati med naslednjimi pojmi: *primarna energija* – *končna energija* – *koristna energija*.

Za primer rabe energije v široki porabi moramo ločevati predvsem med končno in koristno energijo. H končni energiji prištevamo vsa nabavljena goriva, pogonska goriva, daljinsko toplovo, električno energijo. Koristna energija pa je tista, ki dejansko neposredno rabi namenu, npr. toplovo (pridobljena z zgorevanjem kurielnega olja v kotlu pri določenem izkoristku pretvorbe, s katero ogrevamo zrak v prostorih. S podatki strukture končnih porabnikov koristne energije lahko dobimo pregled o tem, kateri porabniki imajo največji delež pri porabi končne energije. To pa pomeni, da ob tem podatku lahko določimo:

Energy efficiency and/or rational energy use should not be achieved through a loss of comfort or financial harm to the organization. Normal work-conditions must be maintained.

## 2. METHODOLOGY OF GATHERING DATA FOR ANALYSIS OF EFFICIENT ENERGY USE

The methodology, gathering and processing of data for efficient energy use enables an assessment of capacities and measures taken in different facilities with regard to various energy carriers, users and installations. Individual facilities which use most energy must be located and prioritized. In the given facility, consumers with highest energy saving potential must first be located. The assessment of appropriate energy savings measures must have the corresponding economic evaluation support. For that reason, databases should be formed. A checklist-method of energy saving actions to take enables a systematic measurement survey, so there is little possibility of missing one.

In the initial phase of controlling energy use, the energy bookkeeping should be introduced and it should enable the monitoring of fuel use by facilities, together with the purpose of use. This then becomes a tool for the evaluation of potential for energy savings measures. This enables an assessment of direct and indirect emissions and other necessary support for choosing measures of rational energy use to take.

## 3. STRUCTURE OF ENERGY USE OF END USERS

For the purpose of creating a survey of energy use, in addition to energy bookkeeping data for comparing the efficiency of energy systems should be gathered, in order to create a picture of energy use including individual energy carriers, losses, emission, amount of energy used, etc..

A part of energy is lost in the process of energy conversion, transportation and distribution. The following terms have therefore been introduced: *primary energy* – *final energy* – *useful energy*.

In the broad use of energy, the terms final and useful energy have to be separately considered. Final energy involves the fuels, distant heating and electricity. Useful energy is that part of the energy which serves a useful purpose (e.g. heat obtained by combustion of fuel in a boiler at some efficiency rate for heating). By gathering the structure of end users, a survey of crucial final energy consumers is given. Using this data, it is thus possible to determine:

- prednostne ukrepe za smotrno rabo in
- določitev tistih, ki imajo največje deleže emisij.

Trenutno strukturo nabavljenih in rabljene energije bomo lahko časovno sproti spremljali v poglavju energijsko knjigovodstvo, tako po posameznih objektih kakor po namenu uporabe. Vez med končno in koristno energijo je izkoristek pretvorbe. Pri tem moramo razlikovati:

— če opazujemo samo napravo, ki pretvarja končno v koristno energijo, govorimo o izkoristku naprave (npr. kotla),

— če pa opazujemo celotni sistem (npr. kotel, cevovode, ogrevala, regulacijo, itn.) govorimo o izkoristku sistema (v opisanem primeru ogrevalnega).

Potrebnna koristna energija podaja z izkoristkom sistema uporabljeno končno energijo. V določenih primerih je končna energija kar enaka primarni energiji, če jo lahko uporabimo neposredno za pridobivanje koristne energije (npr. premog, biomaso pri kurjenju v lastnem kurišču). Končno energijo, ki jo uporabljam prek stalne delitve iz javnega omrežja, je treba najprej oblikovati iz primarne (npr. premog v termoelektrarni – topnarni) v sekundarno obliko energije (npr. daljinska toplota, električna energija). Pri tem se seveda pojavijo dodatne izgube.

#### 4. ENERGIJSKO KNJIGOVODSTVO

Pri nas še nismo povsem doumeli, da je pri smotrni rabi energije treba imeti poleg drugega tudi vpogled v energijsko rabo posameznega objekta, naselja stavb, tovarniške dvorane, transportnega sredstva itn. Vprašanje je, koliko upravljalci stavb in tehnoloških postrojev na Slovenskem spremljajo porabo goriv oziroma rabo drugih oblik končne in koristne energije.

Z energijskim knjigovodstvom dobimo pregled o potrebni koristni in dejansko rabljeni končni energiji. Od tod izhaja, da s tem tudi lahko ocenimo učinkovitost energijskih pretvorb in porabljenih sredstev za končno energijo. Na podlagi takšnega knjigovodstva si lahko odgovorimo na vrsto vprašanj, npr.:

— Je rabljena končna energija za dani objekt prevelika?

— Za koliko se je spremenila v zadnjem letu in zakaj?

— So bile naložbe v smotrno rabo energije učinkovite?

— Kakšni so specifični kazalci rabe končne energije, kakor npr. kWh/m<sup>2</sup> oziroma kWh/enoto proizvoda?

— Koliko prihranimo ob ohranjenem udobju s posameznimi ukrepi smotrne rabe energije?

- measures for rational energy use with high priority,

— users with highest emission rates.

The momentary structure of purchased and used final energy will be time traced in the chapter covering energy bookkeeping by facilities and purpose of use. The link between final and useful energy is conversion efficiency. The following should be separately considered:

— only the device which converts the final energy into useful energy, giving the conversion efficiency of this device (e.g. boiler),

— the whole system (boiler, pipeworks, heaters, regulation etc.), giving system efficiency.

The useful energy required in relation to system efficiency is the final energy used. There are special cases where the amount of final energy equals the primary one. This is true in the case where the final energy serves as the source for the direct production of useful energy (e.g. coal or biomass fired in its own combustion chamber). The final energy consumed from the public energy distribution network must be first converted from its primary form (coal in the power plant) into the secondary one (distant heat - electricity) in which certain energy losses are involved.

#### 4. ENERGY BOOKKEEPING

In addition to the other data for the analysis of rational energy use, there is a need for a survey of energy use of individual facilities, buildings, plants, transportation means etc. This relates to the extent that energy use or other forms of final and useful energy in Slovenia is monitored and estimated compared to the amount of energy consumed.

Using the method of energy bookkeeping, a survey of needed useful and actually consumed final energy is given. The efficiency of energy conversion and consumed resources for final energy can therefore also be estimated. Based on such a procedure, a number of questions can be answered. They include:

— Is the final energy consumed in the given facility too high?

— Is the energy consumed higher or lower than that of the previous year?

— By how much has the energy consumed in the previous year changed, and why?

— Was the investment in rational energy use efficient?

— What do the specific pointers of final energy use show (e.g. kWh/m<sup>2</sup>, kWh/produced unit etc.)?

— How much energy was saved due to individual measures for rational energy use ?

## 5. EMISIJA

Razmeroma velikemu deležu rabe energije pri široki porabi v Sloveniji ustreza seveda tudi emisija škodljivih sestavin v dimnih plinih. Natančne emisije škodljivih snovi v ozračje iz vseh virov po enotni metodologiji do sedaj ni bilo mogoče določiti.

## 6. MODEL SMOTRNE RABE ENERGIJE

Za pregledno in učinkovito spremljanje smotrne rabe energije smo izdelali ustrezni model, katerega shema je prikazana na sliki 2. Iz sheme je razviden energijski menedžment smotrne rabe energije.

Model je zasnovan tako, da lahko z njim zajemamo, zbiramo in obdelujemo posamezne pomembne podatke. To pomeni, da model omogoča časovno spremljanje rabe energije (goriv) tako dnevno kakor mesečno ali letno. To pa pomeni, da je poleg modela treba ustrezno oblikovati strukturo osebja, ki bo neposredno odgovorno za uspeh izvajanja smotrne rabe energije.

## 7. VSEBINA POSAMEZNIH MODULOV

Model smotrne rabe energije je sestavljen iz osnovnih šestih modulov, ki opisujejo celotni model:

- temeljni podatki o objektih,
- načrtovana raba energije,
- energijsko knjigovodstvo,
- emisija,
- razpoznavanje in ovrednotenje ukrepov,
- gospodarnost.

Posamezni osnovni moduli sestavljajo sklenjeno celoto s podmoduli, ki pa se (lahko) medsebojno dopolnjujejo.

Modul temeljni podatki zajema popis glavnih karakteristik, dimenziij in drugih splošnih podatkov, skratka trenutno stanje vseh sistemov v objektu, ki so potrebni pri izvajaju programu. Sestavljen je iz šestih podmodulov, ki popisujejo:

- objekte (gradbeni in arhitekt. del objekta),
- OHPK sisteme in sanitarno toplo vodo,
- tehnološke sisteme (vroča voda, para, itn.),
- razsvetljavo in elektronsko obdel. podatkov,
- mehansko delo,
- transportna sredstva.

Modul načrtovana potrebna energija popisuje modeliranje vseh sistemov, ki jih želimo obravnavati v pomenu načrtovane rabe energije. V končni fazi bo zajel potrebne izračune in nadzor toplotne obremenitve stavb, nadzor dopustnih toplotnih izgub, določitev in nadzor potrebne koristne energije za vse navedene porabniške tehnologije in v skladu z ustreznimi algoritmi energijske porabe.

## 5. EMISSION

A relatively large proportion of broad energy use in Slovenia corresponds also to emission of toxic substances in flue gases. There are no exact data to date on emissions from all sources based on a uniform methodology in Slovenia.

## 6. MODEL OF RATIONAL ENERGY USE

A suitable model has been developed for monitoring efficient energy use. Its block scheme is shown on fig. 2, from which the energy management is also evident.

The model enables the gathering and processing of data relevant for energy use. It also makes possible the time monitoring of energy use (fuels) on a daily, monthly and yearly basis. In addition to the model, the establishment of a staff structure for carrying out the tasks of rational energy use also has to be introduced.

## 7. CONTENT OF INDIVIDUAL MODULES

The model of rational energy use consists of six modules:

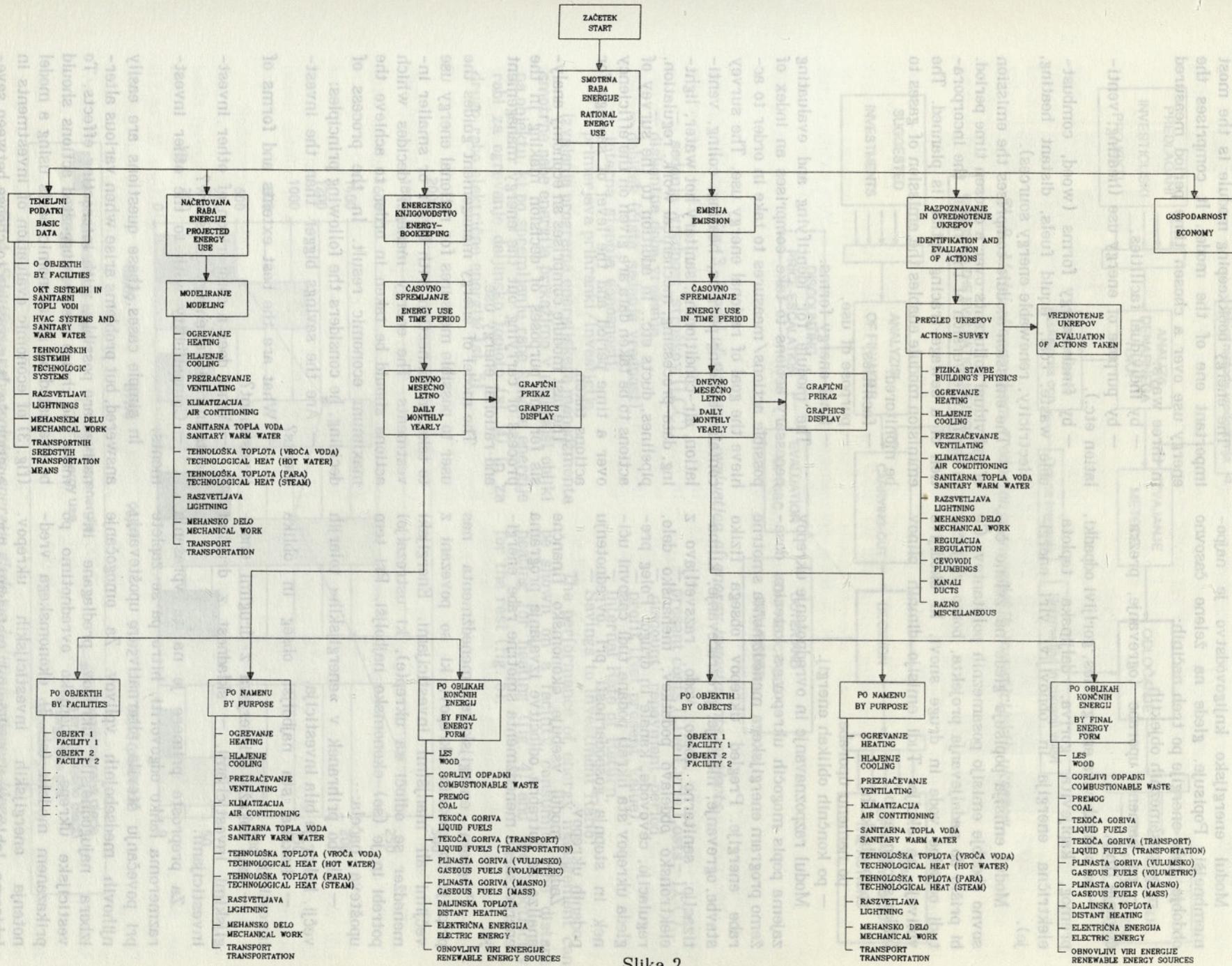
- basic data on the facilities,
- planned energy use,
- energy bookkeeping,
- emissions,
- identification and evaluation of actions required to be taken,
- economy.

The individual modules are made up of submodules which may supplement each other.

The basic data module comprises the basic characteristics, dimensions and other data of systems in the facility under consideration for the purpose of rational energy use. It consists of six modules describing:

- the facility's parts (civil and architectural ones),
- HVAC-systems and sanitary hot water syst..,
- process systems (hot water, steam etc.),
- lighting and electronic data processing,
- mechanical work done,
- transportation means.

The planned energy use module comprises the modelling of systems to be considered for the purpose of planned energy use. In the final stage, the module will comprise calculations and a check of a building's heat load, a check of allowable heat losses and an estimation and check of the amount of useful energy required in accordance with algorithms of energy use.



Slika 2  
Figure 2

Modul energijsko knjigovodstvo je najpomembnejši. Popisuje, glede na želeno časovno obdobje, rabo energije po treh načinih:

- po posameznih objektih,
- po namenu uporabe (ogrevanje, prezračevanje itn.),
- po oblikah vira energij (les, gorljivi odpadki, premog, kapljivita goriva, daljinska topota, električna energija in obnovljivi viri energije).

Modul emisija popisuje glede na želeno časovno obdobje emisijo posameznih polutantov. Če bi prišlo do nadaljevanja projekta, bomo vključili tudi odpadne vode in druge snovi, ki škodljivo vplivajo na okolje. Tudi emisijo dimnih plinov lahko spremljamo:

- po objektih,
- po namenu uporabe,
- po končnih oblikah energij.

Modul razpoznavanje in ovrednotenje ukrepov zajema popis mogočih ukrepov, s katerimi dosežemo program energijskega menedžmenta smotrne rabe energije. Pregled ukrepov obsega fiziko stavbe, ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, klimatizacijo, sanitarno toplo vodo, razsvetljavo z elektronsko obdelavo podatkov, mehansko delo, regulacijo, cevovode, kanale in drugo. Poleg pregleda ukrepov sta hkrati podana tudi časovni učinek in stopnja gospodarnosti pri ovrednotenju podanih ukrepov.

Zadnji modul vsebuje ekonomsko finančne analize za potrebne odločitve izvajanja programa energetskega menedžmenta smotrne rabe energije.

Program energijskega menedžmenta nas pripelje do možnih ukrepov, ki so povezani z večimi ali manjšimi investicijami. Energijski menedžer se odloči za ukrep(e), ki ustreza(jo) potrebi in je (so) ekonomsko najboljši. Pri tem upošteva načela:

- ali bo prihranek v »energijskih« tolarjih večji, kakor je bila investicija,
- kakšna sta najboljši obseg in oblika investicije,
- kaj pokaže primerjava z drugimi energijskimi investicijami, — skladnost z drugimi investicijami.

Za preproste primere je na ta vprašanja razmeroma lahko odgovoriti, hitro pa se zaplete pri povečanju števila alternativ in upoštevanju njihovih medsebojnih vplivov. Za omogočanje izbora najugodnejših ukrepov predlagane investicijske ukrepe ekonomsko ovrednotimo po prikazanem modelu (sl. 3) ekonomskega vrednotenja energijskih investicijskih ukrepov. Izbiramo lahko med različnimi metodami, npr. [8]:

The energy bookkeeping module is the most important one of the model. It comprises the energy use over a chosen time period measured in three ways:

- by individual facilities,
- by purpose of energy use (heating, ventilation etc.),
- by final energy forms (wood, combustible waste, coal, liquid fuels, distant heating, electricity, renewable energy sources).

The emission module comprises the emission of individual pollutants over a chosen time period. In the future version of the model, the incorporation of a sewage-tracing option is planned. The emission module enables the emission of gases to be monitored:

- facilities,
- purpose of use,
- final energy forms.

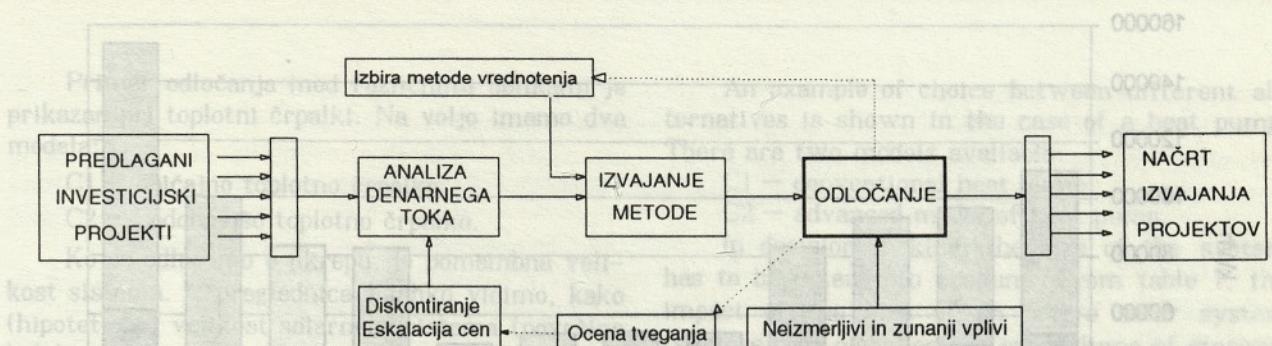
The module for identifying and evaluating necessary actions to take comprises an index of possible actions/measures to take in order to achieve the goal of rational energy use. The survey contains building physics, heating, cooling, ventilation, air-conditioning, sanitary hot water, lighting, data-processing, mechanical work, regulation, pipelines, ducts etc.. In addition to the survey of actions to be taken data are given on the efficiency over a time period and the level of savings for actions taken.

The last module comprises an economy analysis for the purposes of decision making in the process of carrying out the energy management and rational energy use.

The model of energy management guides the user to possible measures for rational energy use to take, in connection with larger or smaller investments. The energy manager decides which actions should be taken in order to achieve the maximum economic result. In the process of deciding, he considers the following principles:

- Are the savings bigger than the investments?
- What are the best extents and forms of investment?
- What does a comparison of other investments in rational energy use show?
- Compatibility with the other investments.

In simple cases, these questions are easily answered, but problems arise when various alternatives are possible, with interacting effects. To make the choice easier, suggested actions should be evaluated on an economic basis using a model (fig. 3) of economic evaluation of investments in energy use. It is possible to choose between several methods [8]:



Sl. 3. Model ekonomskega vrednotenja energijskih investicijskih ukrepov.

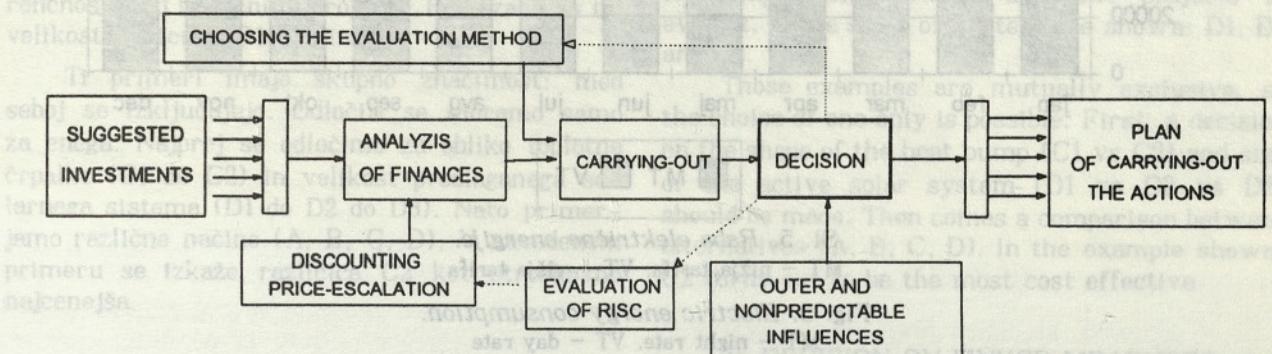


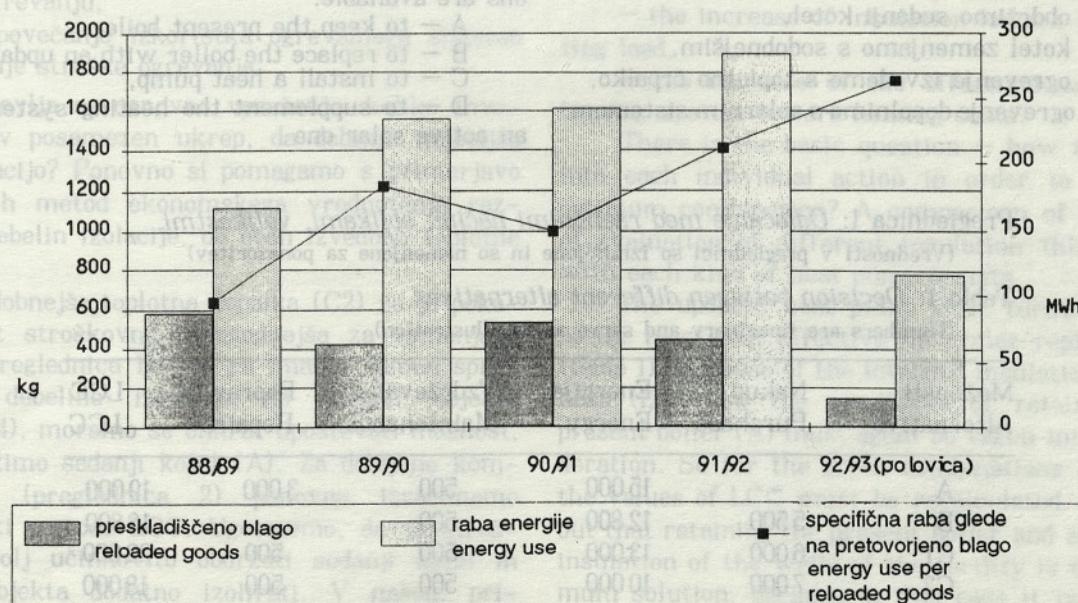
Fig. 3. Model of economic evaluation of energy investments projects.

- sedanja vrednost stroškov (LCC),
  - diskontna doba vračanja,
  - dobiček (čista sedanja vrednost),
  - interna stopnja donosnosti,
  - primerjava prihranki/investicija.

Izvajanja programa energijskega menedžmenta smotrne rabe energije prikažimo v najkrajši obliki na objektu, ki po spremeljanju rabe končne energije rabi za ogrevanje daljinsko toploto (sl. 4) in za drugo rabo električne energije (sl. 5).

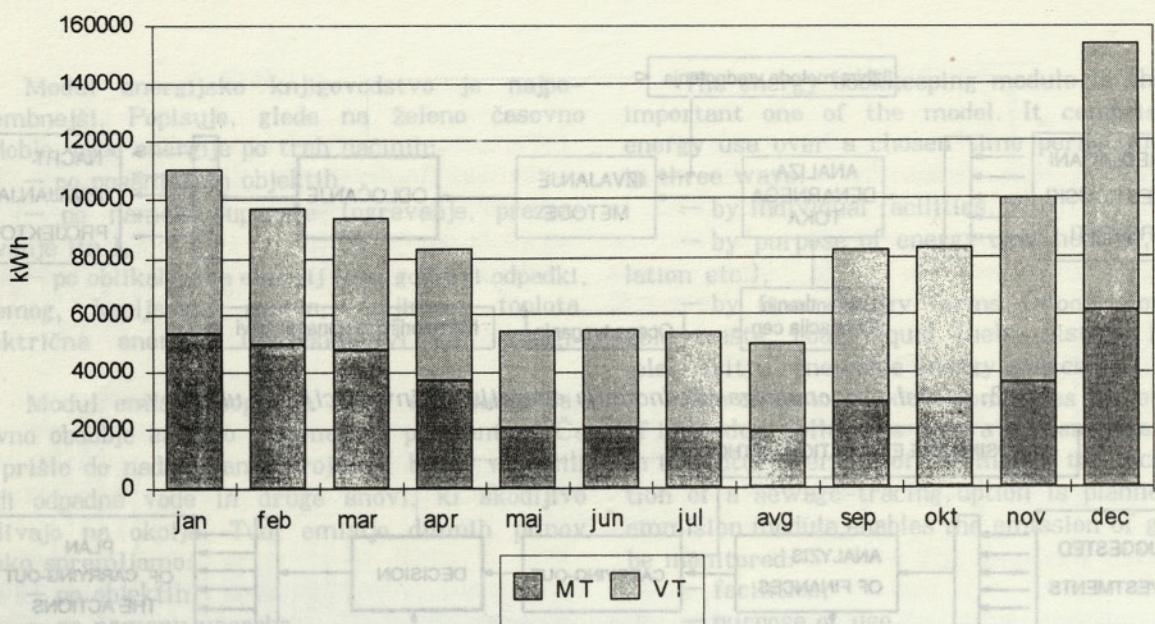
- present costs (Live Cycle Costs – LCC),
  - discount repayment-period,
  - profit (Net present Value),
  - Internal Rate of Return,
  - Savings to Investment Ratio.

The performance of energy management can be shown on a facility consuming the distant heating for heating (fig. 4) and the electricity for the rest (fig. 5).



#### SI 4 Specifična raba toplotne energije glede na količino izdanega blaga

Fig. 4. Specific of heat per unit of product consumption



Sl. 5. Raba električne energije.

MT – nižja tarifa, VT – višja tarifa

Fig. 5. Electric energy consumption.

MT – night rate, VT – day rate

Odločitev za posamezen ukrep navadno ni tako preprosta, da rečemo samo da ali ne, še zlasti, če je ukrep povezan z velikimi finančnimi sredstvi. Izbiramo med več možnostmi, oblikami in velikostmi ukrepov, da bi zadostili vsem zahtevam.

The decision on which measures to take is usually not simply on a yes or no basis, especially in cases where large financial resources are involved. The choice between a number of alternatives, forms etc. should be made in order to satisfy all demands.

## 8. ODLOČANJE MED RAZLIČNIMI NAČINI, OBLIKAMI, VELIKOSTMI

Različne vrste odločanja si predstavimo s primerom [9]: odločamo se, kako bomo ogrevali objekt. Na voljo imamo več možnosti:

- A – obdržimo sedanji kotel,
- B – kotel zamenjamo s sodobnejšim,
- C – ogrevanje izvedemo s topotno črpalko,
- D – ogrevanje dopolnimo s solarnim sistemom.

## 8. DECISION BETWEEN VARIOUS ALTERNATIVE MEASURES TO TAKE

The different kinds of decision making can be shown on example [9]. There is a decision on how to heat the facility to make and several options are available:

- A – to keep the present boiler,
- B – to replace the boiler with an updated one,
- C – to install a heat pump,
- D – to supplement the heating system with an active solar one.

Preglednica 1: Odločanje med različnimi načini, oblikami, velikostmi.

(Vrednosti v preglednici so izmišljene in so namenjene za ponazoritev)

Table 1: Decision between different alternatives.

(Numbers are imaginary and serve as an illustration)

Možnosti Alternative	Nakup Purchase	Energija Energy	Vzdrževanje Maintenance	Popravila Repairs	LCC LCC
A	-	15 000	500	3 000	19 000
B	5 500	12 800	500	-	18 800
C1	6 000	13 000	500	500	20 000
C2	7 000	10 000	500	500	18 000
D1	12 500	4 500	1 000	2 000	20 000
D2	13 000	3 800	1 000	2 100	19 000
D3	13 500	3 500	1 000	2 200	20 200

Primer odločanja med različnimi oblikami je prikazan pri toplotni črpalki. Na voljo imamo dva modela:

- C1 – običajno toplotno črpalko,
- C2 – sodobnejšo toplotno črpalko.

Ko se odločamo o ukrepu, je pomembna velikost sistema. Iz preglednice 1 lahko vidimo, kako (hipotetično) velikost solarnega sistema (površina kolektorjev in prostornina hranilnikov toplote) vpliva na izračun metode LCC in s tem na konkurenčnost med različnimi projekti. Prikazane so tri velikosti sistema: D1, D2 in D3.

Ti primeri imajo skupno značilnost: med seboj se izključujejo. Odločiti se moramo samo za enega. Najprej se odločimo za obliko toplotne črpalke (C1 do C2) in velikost predlaganega solarnega sistema (D1 do D2 do D3). Nato primerjamo različne načine (A, B, C, D). V navedenem primeru se izkaže različica C2 kot stroškovno najcenejša.

## 9. ODLOČANJE MED POVEZANIMI UKREPI

Pogosto se je treba odločati o kombinaciji v okviru skupine ukrepov. Tako stanoje se pojavi, ko so ukrepi med seboj odvisni in izvedba enega vpliva na stroškovno učinkovitost drugih.

Prejšnji primer nekoliko dopolnilno: želimo povečati debelino izolacije na stenah objekta in hkrati povečati izkoristek ogrevalnega sistema. Ukrepa sta med seboj odvisno povezana:

- povečanje debeline izolacije zmanjša potrebo po ogrevanju,
- povečanje izkoristka ogrevalnega sistema zmanjšuje stroške ogrevanja.

Pojavlja se osnovno vprašanje: koliko investirati v posamezen ukrep, da dobimo najboljšo kombinacijo? Ponovno si pomagamo s primerjavo izvedenih metod ekonomskega vrednotenja različnih debelin izolacije, ob obeh izvedbah toplotne črpalke.

Sodobnejša toplotna črpalka (C2) se je pokazala kot stroškovno najugodnejša za zamenjavo kotla (preglednica 1). Ker pa imamo namen spremniti debelino izolacije na stenah objekta (I2 do I4), moramo še enkrat upoštevati možnost, da obdržimo sedanji kotel (A). Za dobljene kombinacije (preglednica 2) ponovno izračunamo vrednosti metode LCC. Ugotovimo, da je stroškovno bolj učinkovito obdržati sedanji kotel in stene objekta dodatno izolirati. V našem primeru je očitno, da izboljšanje izolacije močneje vpliva na prihranek energije kakor zamenjava ogrevalnega sistema.

An example of choice between different alternatives is shown in the case of a heat pump. There are two models available:

- C1 – conventional heat pump,
- C2 – advanced model of heat pump.

In decision making, the size of the system has to be taken into account. From table 1, the impact of the size of an active solar system (surface area of collectors and volume of storage) on a calculation of LCC-method and therefore on competition between different projects is evident. Three sizes of system are shown: D1, D2 and D3.

Those examples are mutually exclusive, so the choice of one only is possible. First, a decision on the shape of the heat pump (C1 vs C2) and size of the active solar system (D1 vs D2 vs D3) should be made. Then comes a comparison between alternatives (A, B, C, D). In the example shown, C2 turns out to be the most cost effective.

## 9. DECISION ON LINKED MEASURES

It often turns out that a decision between combinations of choices of measures from the same group of measures has to be made. Such situation occurs in cases when the measures are mutually dependent and the choice of an individual one affects the cost effectiveness of the others.

As a supplement to the previous example — the thickness of the thermal insulation of the walls of a facility and, at the same time, the efficiency of the heating systems should be increased. The actions are mutually linked:

- the increase of insulation lowers the heating load,

— the increase of the effectiveness of the heating system lowers heating costs.

There is the basic question — how to invest into each individual action in order to get the optimum combination? A comparison of methods of evaluation of different insulation thicknesses with each kind of heat pump assists.

The updated heat pump (C2) turned out to be the most cost effective for boiler replacement (table 1). Because of the intended insulation thickness (I2 to I4) the possibility of retaining the present boiler (A) must again be taken into consideration. So for the given combinations (table 2) the values of LCC must be recalculated. It turns out that retaining the present boiler and additional insulation of the walls of the facility is the optimum solution, because in this case it is evident that improvement of the insulation has a greater impact on energy savings than replacement of heating system.

Preglednica 2: *Odločanje med povezanimi ukrepi.*

(Vrednosti v preglednici so izmišljene in so namenjene le za ponazoritev)

Table 2: *Decision between linked measures*

(Numbers are imaginary and serve as an illustration)

	A-sedanji kotel (present boiler)		C2-toplotna črpalka (heat pump)		
Debelina izolacije	Stroški za izolacijo	Stroški za energijo	Skupaj LCC	Stroški za energijo	Skupaj LCC
Insulation Thickness	Insulation costs	Energy costs	Total LCC	Energy costs	Total LCC
I1-R10 (A)	-	15 500	19 000	10 000	18 000
I2-R19	500	12 000	16 000	8 000	16 500
I3-R30	800	10 500	14 800	7 000	15 800
I4-R38	1000	9 500	14 000	6 500	15 500

## 10. DOLOČANJE NAČRTA IZVAJANJA UKREPOV

V primeru, ko lahko predlagamo večje število možnih stroškovno učinkovitih ukrepov, ki se med seboj ne izključujejo, običajno ni dovolj razpoložljivih sredstev za izpeljavo vseh hkrati. Zato je primerno, da naredimo prednostno listo ukrepov. Po tej listi in razpoložljivih sredstvih se odločamo za najugodnejšo kombinacijo, naredimo načrt izvajanja ukrepov.

Preglednica 3: *Prednostna lista ukrepov.*

(Vrednosti v preglednici so izmišljene in so namenjene le za ponazoritev)

Table 3: *List of ranked measures to take.*

(Numbers are imaginary and serve as an illustration).

Projekti Projects	Investicija Investment	LCC brez projek. (without)	LCC s projek. (with)	Neto prihranek Net savings	SIR	Vrstni red Rank
I4-R38 dodana izolacija added insulation	1000	19 000	14 000	5 000	6,0	2
W zamenjava žarnic z bolj varčnimi replacement of bulbs with more efficient ones	250	5 000	3 250	1 750	8,0	1
X dodan sončni sistem added solar system	2 000	5 100	4 250	850	1,4	5
Y dodan ventilator added fan	250	2 200	1 850	350	2,4	3
Z upoštevanje energetske varčnosti pri zamenjavah sredstev consideration of energy economy in the case of replacement	500	2 000	1 700	300	1,6	4

## 10. DETERMINING THE PLAN OF CARRYING OUT THE MEASURES

When a larger number of potential cost effective non-exclusive actions can be presented there are usually not enough available resources for carrying out all of them, and they should be ranked in order of preference. This provides a source for pinpointing the optimal combination and assists planning their implementation.

V preglednici 3 je prikazan primer z upoštevanjem ukrepa z najnižjimi stroški LCC iz preglednice 2 in nekaterimi drugimi ukrepi, za katere je bilo ugotovljeno, da so stroškovno sprejemljivi.

Vidimo, da samo primerjava vrednosti LCC ne pomaga pri odločitvi. Glavno vodilo pri odločjanju sta investicijska zahteva in neto sedanja vrednost dobička.

Ob delno razpoložljivih finančnih sredstvih lahko izvedemo le del predlaganih ukrepov. Iz preglednice 3 so razvidne finančne potrebe posameznih ukrepov, tako da lahko določimo močne kombinacije. Seštejemo dobičke ukrepov po kombinacijah in dobimo rešitev, ki je najugodnejša.

Če imamo na voljo 1500 enot denarja, ukrep X: dodan solarni sistem ne pride v poštev, ker je predrag. Ostaneta nam še dve kombinaciji:

- 1) I4-R38 in Z s skupnim čistim prihrankom 5300 enot,
- 2) I4-R38 in W in Y z čistim prihrankom 7100 enot.

Prednost ima tako druga kombinacija, preostali ukrepi pa lahko pridejo na vrsto, ko bodo razpoložljiva sredstva zadostna.

Pri razvrščanju ukrepov si pomagamo s primerjavo stroškov in koristi (metoda SIR). V preglednici 3 so podana izračunana razmerja in pripadajoči prednostni vrstni red. Takšen način določanja prednostnega vrstnega reda je zelo dobrodošel predvsem tedaj, ko imamo večje število predlaganih ukrepov. Tako hitro opazimo ekonomsko najugodnejše predloge. Izbira prvih ukrepov še ne pomeni najboljše izbire. Da primemo do nje, moramo primerjati dobičke (NSV) z nekaj kombinacijami predlogov, ki jih izberemo z vrha prednostne liste.

## 11. SKLEP

Energijski menedžment pomeni celosten prijem pri gospodarjenju z energijo, tako s strokovne kakor tudi menedžerske strani. Zagotavlja nadzor energijskega toka, smotrno rabo energije in spremeljanja emisije, znižuje energijske stroške in omogoča stabilnost odločanja.

Z zasnovanim modelom smotrne rabe energije je omogočen poenoten nadzor, spremeljanje in raba energije ter emisije. Omogočena je primerjava med načrtovano, računsko in dejansko rabo končne in/ali koristne energije na vseh področjih rabe energije. Model omogoča metodološko poenoten kriterij spremeljanja rabe energije in emisije, kar ima lahko vsedržavni pomen.

Table 3 shows a case in which the measure from table 2 with the lowest LCC-costs is taken into consideration. Several other measures which are also cost acceptable are also taken into account.

It is evident that the LCC-value alone does not help in decision making. The leading role is played by investment costs and net present profit.

With the available finances, only some of the suggested actions can be taken. Table 3 shows the required finances for carrying out the individual actions, which helps to determine the possible combinations. Thus to get the most appropriate measure, the benefits of combinations of measures should be summed.

If 1500 money units are available, the action X (added solar system) becomes too expensive. So two options remain:

- I4-R38 and Z, with total net savings of 5300 units,
- I4-R38 and W and Y with total net savings of 7100 units.

So the second combination is appropriate and the others when the finances will suffice.

In the process of classifying, help is given by cost/benefits comparison (SIR-method). Table 3 shows calculated ratio and pertaining rank. This method is appropriate in the case of several suggested measures to be taken. It allows a quick determination of the best choice, which is determined by a comparison of the benefits (NSV-method) of several combinations from the top of the ranked list.

## 11. CONCLUSION

Energy management is a global grasp in energy economy from both sides — expert and management. It ensures surveillance of the energy flow, rational energy use, estimation of emissions, lowering of energy costs and stability of decision making.

The designed model of rational energy use enables uniform control, survey of energy use and emissions. A comparison between planned, calculated and actual final and/or useful energy use in all fields of energy use is possible. The model provides a methodologically uniform criterion of energy use and emissions which can have national meaning itself.

## 12. LITERATURA

## 12. REFERENCES

- [1] Lyberg, M. D.: Source Book for Energy Auditors, Volume 1, 2, IEA Energy Conservation, Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1987.
- [2] Jilek, W.: Handbuch für kommunale und regionale Energieplanung. Band 1, 2. Institut für Umweltforschung, Graz, 1986.
- [3] Analiza razvojnih možnosti energetike Republike Slovenije v obdobju 1990–2020. Skupina institucij Ljubljana, 1991.
- [4] Kis, G. M.–Mahon, H. P.–Leimer, H. J.: Energiesparen jetzt. Arbeitsmethoden und Checklisten zum Kostensenkung in bestehenden und neuen Gebäuden und Industrieanlagen. Bauverlag GmbH Wiesbaden, Berlin, 1978.
- [5] Turner, W.C.: Energy Management Handbook, John C. Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1982.
- [6] Stewart, S.–Pavlak A.: Model Energy Audit Program Guidelines (U.S.D.O.E. Agreement DE-FG45-80R510197), 1980, p. 24.
- [7] HVAC Systems and Applications, 1987 ASHRAE Handbook. Ch. 48 Energy Management, ASHRAE, Atlanta, 1987.
- [8] Ruegg, R.: Economics of Energy Management, HPAC, 1984.
- [9] Vrtačnik, J.: Ekonomski učinki gospodarjenja z energijo, Diplomsko delo, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1993.

Naslov avtorjev: mag. Vincenc Butala, dipl. inž.

† doc. dr. Jože Zupančič, dipl. inž..

prof. dr. Peter Novak, dipl. inž.

Fakulteta za strojništvo

Univerze v Ljubljani

Aškerčeva 6

Ljubljana, Slovenija

Authors' Address: Mag. Vincenc Butala, Dipl. Ing.

† Doc. Dr. Jože Zupančič, Dipl. Ing.

Prof. Dr. Peter Novak, Dipl. Ing.

Faculty of Mechanical Engineering

University of Ljubljana

Aškerčeva 6

Ljubljana, Slovenia

Prejeto: 30.10.1992

Received:

Sprejeto: 11.2.1993

Accepted: