Univerza v Mariboru

Fakulteta za kemijo
in kemijsko tehnologijo

Razvoj produktov in procesov

Zbrano gradivo

Zorka Novak Pintarič

Maribor, 2014

Kazalo

1. Uvod ... 1
1.1. Vrste projektov v kemijski industriji ... 1
1.2. Kriteriji uspešnosti projekta ... 1
1.3. Pomen in cilji ekonomske analize v kemijski industriji ... 2
1.4. Značaj denarja in kapitala (sredstev) ... 3
1.5. Viri sredstev ... 3
1.6. Cena kapitala ... 4
2. Matematične metode v ekonomiki ... 5
2.1. Obresti ... 5
2.1.1. Navadni obrestni račun ... 5
2.1.2. Diskretni obrestno obrestni račun ... 5
2.1.3. Zvezni obrestno obrestni račun ... 7
2.1.4. Inflacija ... 8
2.1.5. Sedanja in prihodnja vrednost ... 9
2.2. Sedanja vrednost denarnih tokov ... 10
2.2.1. Kaj je denarni tok? ... 10
2.2.2. Neto sedanja vrednost ... 10
2.2.3. Zvezno diskontiranje zveznih denarnih tokov ... 11
2.2.4. Diskretno diskontiranje diskretnih denarnih tokov ... 12
2.2.5. Zvezno diskontiranje diskretnih denarnih tokov ... 14
2.3. Periodična plačila ... 14
2.3.1. Periodična plačila iz obresti ... 15
2.3.2. Periodična plačila z namenom varčevanja ... 15
2.4. Amortizacija kredita ... 16
2.4.1. Anuitetni način ... 16
2.4.2. Obročni način ... 17
2.5. Doba vračanja ... 18
3. Sistematični pristop k razvoju projektov ... 19
3.1. Razvrstitev ekonomskih ocen ... 19
3.2. Osnovne značilnosti predhodnega ocenjevanja projektov ... 20
3.2.1. Mejniki v razvoju projekta ... 20
3.2.2. Zaporedje korakov za predhodno ocenjevanje projekta ... 21
3.3. Opis izdelka ... 22
3.4. Raziskava tržišča ... 22
3.4.1. Napoved povpraševanja ... 22
a) Cenovna prožnost povpraševanja ... 23
b) Življenjski ciklus proizvoda in obrata ... 25
3.4.2. Napoved cene izdelka ... 26
3.5. Razvoj procesne sheme ... 26
3.5.1. Blok diagram procesa ... 27
3.5.2. Snovne in energijske bilance ... 27
3.5.3. Procesna shema ... 28
4. Dimenzioniranje in določanje cen procesnih enot ... 29
4.1. Metode za hitro dimenzioniranje procesnih enot ... 29
4.1.1. Posode ... 29
4.1.2. Toplotni prenosniki ... 30
4.1.3. Peči in plamenski grelniki ... 31
4.1.4. Kolone ... 32
4.1.5. Črpalke ... 34
4.1.6. Kompresorji ... 35
4.2. Določitev cene procesne opreme ... 35
4.2.1. Eksponentne zveze ("pravilo šestih desetin") ... 36
4.2.2. Cene procesnih enot z različnimi velikostmi oz. kapacitetami (scale-up, scaling) ... 36
4.2.3. Logaritemski diagrami ... 37
4.2.4. Preračunavanje cen iz enega časovnega obdobja v drugo (cenovni indeksi) ... 38
5. Ocena investicije v osnovna sredstva ... 40
5.1. Faktorska metoda ... 40
5.1.1. Neposredna osnovna sredstva ... 40

5.1.2. Posredna osnovna sredstva ... 43
5.2. Langovi faktorji ... 45
5.3. Metoda po Wilson-u ... 45
5.4. Potenčni faktorji (Capacity Exponent) ... 46
5.5. Faktor obračanja osnovnih sredstev (Turnover Ratio) ... 46
5.6. Modularna faktorska metoda ... 47
6. Amortizacija ... 50
6.1. Koncept amortizacije ... 50
6.2. Vpliv amortizacije na dobiček ... 51
6.3. Amortizacija in amortizacijska doba procesne opreme ter obrata ... 53
6.4. Metode za izračunavanje letne amortizacije ... 54
6.4.1. Enakomerno amortiziranje ... 54
6.4.2. Padajoče amortiziranje ... 55
6.5. Izbira metode amortiziranja v predhodnem ocenjevanju projekta ... 56
7. Prihodek in obratovalni stroški ... 58
7.1. Prihodek ... 58
7.2. Vrste obratovalnih stroškov ... 58
7.3. Stroški surovin ... 59
7.4. Stroški pogonskih sredstev ... 60
7.5. Stroški dela ... 61
7.6. Stroški vzdrževanja ... 63
7.7. Stroški nadzora kakovosti ... 64
7.8. Stroški obdelave odpadkov ... 64
7.9. Stroški zaščitne opreme in drobnega inventarja ... 64
7.10. Stroški potrošnega materiala ... 64
7.11. Stalni stroški ... 64
7.12. Stroški embalaže ... 65
7.13. Metoda za hitro ocenitev obratovalnih stroškov ... 65
8. Ekonomski kriteriji (statične metode) ... 66
8.1. Ocena celotne investicije ... 66
8.1.1. Obratna sredstva ... 66
8.2. Ocena skupnih odhodkov ... 67
8.3. Donosnost investicije ... 67
8.3.1. Sprejemljiva vrednost donosnosti ... 68
8.3.2. Določanje prodajne cene ... 69
8.3.3. Vpliv obsega proizvodnje na donosnost ... 70
8.4. Donosnost investicije pri spremenljivih letnih donosih ... 71
8.5. Donosnost povprečne investicije ... 72
8.6. Doba vračanja (vračilni rok) ... 73
9. Ekonomski kriteriji (dinamične metode) ... 74
9.1. Analiza denarnih tokov ... 74
9.1.1. Diagrami denarnih tokov ... 75
9.2. Doba vračanja z diskontiranimi denarnimi tokovi ... 75
9.3. Neto sedanja vrednost (čista sedanja vrednost) ... 76
9.4. Interna stopnja donosnosti (notranja stopnja donosa) ... 77
9.4.1. Večkratna interna stopnja donosnosti ... 80
9.4.2. ISD in različna velikost investicij ... 81
10. Izbira med alternativami ... 82
10.1. Izbira med različnimi procesnimi enotami ... 82
10.1.1. Pravilo minimalne naložbe ... 82
10.1.2. Inkrementalna donosnost ... 82
10.1.3. Metoda ekvivalentnih letnih stroškov (break-even analysis) ... 83
10.2 Izbira med različnimi procesi in naložbami ... 85
10.2.1. Inkrementalna donosnost ... 85
10.2.2. Inkrementalna neto sedanja vrednost ... 86
10.2.3. Inkrementalna interna stopnja donosnosti ... 86
10.2.4. Inkrementalno razmerje sedanjih vrednosti (benefit-cost ratio analysis) ... 88
10.2.5. Najem (leasing) procesnih enot ... 89
Literatura ... 90

1. Uvod

Ena izmed nalog kemijskih inženirjev v naftni, kemijski in drugi procesnih industrijah je vodenje in izpeljava industrijskih projektov. Projekt je vsak predlog, načrt ali namen, ki zahteva investiranje denarja za izgradnjo novih ali izboljšanje obstoječih proizvodnih zmogljivosti.

Vodenje projekta pomeni uporabo inženirskega znanja za definiranje tehničnih rešitev in uporabo ekonomskega znanja za zagotavljanje želene donosnosti projekta.

Izpeljava projekta pomeni povezovanje znanj številnih disciplin, kar je lahko za inženirja pravi izziv. Razvoj ideje od zamisli preko raziskovalne stopnje do postavitve obrata in trženja proizvoda je izjemen dosežek kemijske procesne metodologije v moderni industrijski dobi.

Pomemben del projekta je ekonomska analiza, ki predstavlja sredstvo, na osnovi katerega vodstvo sprejema odločitve o gradnji novih obratov ali razširitvah in posodobitvah obstoječih obratov.

1.1. Vrste projektov v kemijski industriji

Za povojno obdobje prejšnjega stoletja je bila značilna hitra gospodarska rast, zato je večina projektov zajemala gradnjo novih, velikih obratov. Zaradi naftnih kriz, ki so sledile, so se v novejšem času aktivnosti usmerile k projektom za povečevanje učinkovitosti obratovanja ter zmanjšanje porabe energije in k projektom za rekonstrukcije obratov zaradi varnostnih in okoljskih razlogov. Zato poznamo v kemijski procesni industriji različne vrste ekonomskih analiz:

1. *Postavitev novega obrata*. Kljub veliki obsežnosti problema je lahko ocenjevanje v takem primeru relativno enostavno, ker ni dodatnih omejitev, ki bi jih postavljal že obstoječi obrat. Obseg analize se lahko spreminja od analize majhnega šaržnega obrata (vrednosti npr. do enega milijona EUR) do analize velikega, ″world-scale″ obrata (npr. za proizvodnjo sečnine ali metanola z vrednostjo več deset ali več sto milijonov EUR).
2. *Razširitev obstoječega obrata*. Takšne projekte izvajamo z namenom razširitve raznovrstnosti proizvodov ali z namenom povečanja obsega proizvodnje. V tem primeru obstoječi obrat postavlja določene omejitve pri načrtovanju, vendar pa so tudi določene prednosti, kot npr. podatki o cenah obstoječega obrata, vzpostavljeni stiki z dobavitelji opreme ipd. Pogosto širitev proizvodnje dosežemo z gradnjo dodatne proizvodne linije, ki je identična že obstoječi. V tem primeru je ekonomska ocena enostavna. Težje je v primeru, ko razširitev vključuje nove procesne enote, ki se razlikujejo od obstoječih.
3. *Posodobitev obstoječega obrata*. Obrati ali deli obratov postanejo po določenem času obratovanja zastareli, kar zahteva spremembe v obratu. Npr. sprememba vhodne surovine (pogosto v petrokemijskih obratih), ponudba učinkovitejše procesne enote, spremembe v obratu zaradi procesne integracije, ki jo narekuje podražitev virov energije itd. Poostrene varnostne zahteve pogosto vodijo do znatnih sprememb v procesu. Strožje okoljske zahteve ponavadi zahtevajo gradnjo novih obratov za obdelavo izpustov.

1.2. Kriteriji uspešnosti projekta

Kriteriji za izbiro projekta so lahko ekonomski ali neekonomski. Osnovni cilj podjetja je seveda zaslužiti denar in tako je tudi cilj vsakega projekta doseči postavljeni ekonomski kriterij, oz. najti najboljše možnosti za investiranje denarja. Morebitni ekonomski uspeh projekta lahko ocenjujemo z različnimi dobro znanimi metodami. V zgodnjih fazah razvoja projekta, še posebej, kadar gre za nove proizvode ali procese, je potrebno upoštevati tudi različne neekonomske kriterije uspešnosti, ki pa jih je zaradi pomanjkanja informacij težko vključiti v kvantitativno ekonomsko analizo. Ocena uspešnosti projekta z vidika neekonomskih kriterijev je tako lahko le kvalitativna in subjektivna. V nadaljevanju se bomo ukvarjali izključno z ekonomskimi kriteriji, zato na tem mestu na kratko naštejmo nekatere najpogostejše neekonomske kriterije:

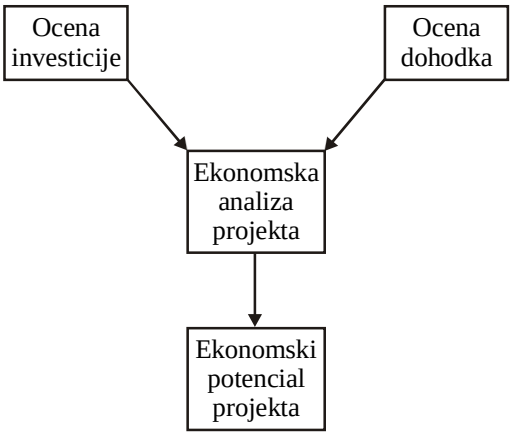
1. Zanimiv proizvod z dobro ceno.
2. Tržišče. Investicija v nove proizvodne zmogljivosti mora biti upravičena na osnovi napovedanega povpraševanja po proizvodu. Napoved povpraševanja je naloga raziskave tržišča, kjer raziskujemo verjetno časovno porazdelitev povpraševanja in ugotavljamo sprejemljivo ceno proizvoda. Pri odločanju o investiciji so izredno pomembni rezultati raziskave o tem, kakšno je zanimanje tržišča za proizvod. Veliko zanimanje namreč obeta, da bodo denarni tokovi (prihodki – odhodki) pozitivni že kmalu po začetku obratovanja, kajti, kot bomo videli kasneje, imajo dobički v zgodnji fazi obratovanja tudi največji pomen.
3. Rast prodaje. Stalna rast prodaje proizvoda zagotavlja ekonomsko uspešnost projekta. Pomembna pa je tudi iz drugih vidikov, ker povečuje motivacijo zaposlenih in vodstva podjetja ter s tem spodbuja nadaljnje uspehe.
4. Dobava surovin. Zanimanje za proizvod in rast povpraševanja sta predpogoja za uspešno trženje proizvoda, vendar pa lahko pride do okoliščin, ki ustavijo proizvodnjo in prodajo kljub velikemu povpraševanju. Eno od takšnih okoliščin predstavljajo motnje pri dobavi vhodnih surovin. Zato želijo imeti proizvajalci vsaj malo nadzora nad dobavo surovin.
5. Patenti. Vodstvo podjetja je ponavadi močno zainteresirano, da so projekti, ki vključujejo proizvodnjo novih produktov zaščiteni s patenti. To daje podjetju ekskluzivno pravico za proizvodnjo proizvoda vdoločenem obdobju, s čemer si ustvari velik vpliv na tržišče, ki traja ponavadi tudi še po izteku patenta.
6. Znanje. Podjetje, ki se poda na področje, na katerem nima potrebnega znanja in izkušenj, precej tvega. Poslovne možnosti na novih področjih so lahko ekonomsko privlačne, vendar pomanjkanje izkušenj pogosto vodi do napak, ki obetan ekonomski uspeh spremenijo v razočaranje. Zato je ugodno, da se podjetje v takem primeru poveže z drugimi podjetji, ki imajo izkušnje na tem področju.

1.3. Pomen in cilji ekonomske analize v kemijski industriji

Ekonomska analiza igra ključno vlogo pri odločitvi o usodi nekega industrijskega projekta: ali bo projekt uspel ali bo zavrnjen. Vsaka ekonomska analiza temelji na dveh osnovnih postavkah:

1. investicija, ki je enkratni znesek, potreben za uresničitev projekta v praksi in
2. presežek prihodka nad odhodki, ki je funkcija časa in predstavlja razliko med prihodki, ki jih prinaša projekt in najrazličnejšimi stroški oz. odhodki.

Ekonomska analiza projekta pomeni določitev vrednosti obeh omenjenih postavk z metodami, ki se razlikujejo po zahtevnosti in natančnosti in jih izberemo glede na stopnjo razvoja, v kateri je projekt v danem trenutku. Obe postavki nato povežemo na ustrezen način in tako dobimo ekonomski kriterij ali ekonomski potencial projekta, na osnovi katerega se odločimo o njegovi usodi (slika 1.1.).



Slika 1.1. Osnovni princip ekonomske analize projekta

Za določitev obeh zgoraj omenjenih postavk in izračun ekonomske uspešnosti projekta moramo v ekonomski analizi raziskati in določiti naslednje:

- vrsta projekta (šaržni ali kontinuirni)
- obseg proizvodnje (kapaciteta)
- celotna vrednost investicije, razdeljena na posamezne postavke (osnovna sredstva, obratna sredstva)
- delež lastnih sredstev za izvedbo investicije
- načini za pridobitev manjkajočih sredstev (krediti)
- obrestna mera kreditov in obdobje vračanja
- morebitne olajšave za prva leta obratovanja
- obratovalni stroški (surovine, gorivo, električna energija, voda, obdelava odpadnih vod, katalizator, pakiranje, distribucija)
- stroški za plače in druge ugodnosti (prehrana, prevoz na delo)
- posredni stroški (administracija, prodaja)
- metoda amortiziranja osnovnih sredstev in obdobje amortiziranja
- davčna stopnja na dobiček
- stopnja inflacije
- faktor negotovosti pri ekonomski oceni

1.4. Značaj denarja in kapitala (sredstev)

Namen ekonomske analize obstoječega ali načrtovanega obrata je določitev njegove ekonomske uspešnosti. Merilo, ki ga pri tem uporabljamo, je vedno neka *denarna enota* - EUR, USD, GBP ipd. Denar je univerzalno menjalno sredstvo, vendar je njegovo lastno vrednost težko definirati, dodatno težavo pa povzroča tudi manjšanje njegove kupne moči s časom, t.j. *inflacija*. Še tako natančno izpeljana ekonomska analiza bo dala ob koncu zastarele rezultate, če ni upoštevan učinek inflacije.

Statistični urad spremlja inflacijo s t.i. statistično košarico, na osnovi katere ugotavlja, kako se spreminja splošna raven cen. V Sloveniji kot splošno merilo teh sprememb uporabljamo indeks cen življenjskih potrebščin.

Za ocenjevanje investicij v kemijski industriji so pomembni posebni indeksi, ki jih redno objavljajo v tujih revijah in izražajo rast cen različnih procesnih enot, delovne sile, materialov in drugih postavk. Najpogosteje uporabljajo Marshall in Swift-ov indeks za opremo glede na vse industrijske panoge in za opremo v procesni industriji. Uporabo teh indeksov bomo podrobneje spoznali v enem od naslednjih poglavij.

Za kemijske inženirje, ki se ukvarjajo z ekonomsko analizo projekta, sta najvažnejša dva učinka inflacije:

1. Vrednost investicije s časom narašča. Vsaka zamuda pri realizaciji projekta pomeni, da bodo potrebna višja investicijska sredstva za njegovo zaključitev.
2. Obratovalni stroški, ki so povezani s proizvodnjo v postavljenem obratu bodo iz leta v leto višji, ravno tako bodo naraščali prihodki od prodaje produktov.

Z izrazom *sredstva* (*kapital*) označujemo denar, ki ga je potrebno investirati, da bi pripeljali projekt do konca, t.j. do realizacije. Če predstavlja projekt obrat za proizvodnjo neke kemikalije, zajema investicija sredstva za nakup procesnih enot, plače vseh delavcev, ki so opravili postavitev obrata, zaslužek dobaviteljev in številne druge postavke, ki jih bomo podrobneje spoznali v nadaljevanju.

1.5. Viri sredstev

Kje bo podjetje dobilo denar za izvedbo projekta? Odgovor je podoben, kot če želi posameznik kupiti npr. avto ali televizijski sprejemnik. To lahko stori s svojimi prihranki, če jih ima, ali si denar sposodi in ga vrne kasneje. Podjetja imajo na voljo tri vire sredstev:

1. *Notranji viri*. Najznačilnejši je prihranjen dobiček.
2. *Zunanji viri*. Podjetje si lahko sposodi denar na različne načine, bodisi kot kratkoročno ali dolgoročno posojilo. Ena od možnosti je izdaja obveznic, s katerimi se podjetje obveže, da bo kupcu ob dospelosti izplačalo celotno vplačano vrednost in tudi določene obresti.
3. *Izdaja novih delnic*. Tudi z izdajo delnic lahko pride podjetje do denarja. Delnice so lahko prednostne in redne. Prednostne delnice zagotavljajo kupcem določeno dividendo ne glede na uspešnost podjetja, medtem ko je dividenda rednih delničarjev odvisna od poslovnega uspeha podjetja.

Največji delež sredstev pripada notranjim virom podjetja, delež sredstev, ki so dobljena z izdajo delnic, je relativno majhen.

1.6. Cena kapitala

Če si sposodimo denar, moramo za to plačati določeno ceno, ki jo predstavljajo obresti. Varčevalci pa od banke dobijo obresti, ker lahko banka uporabi njihov denar za druge transakcije. Tisti, ki si sposodi določen znesek denarja, ga mora vrniti skupaj z obrestmi po dogovorjenem načrtu vračanja. Obresti so po navadi izražene kot delež glavnice, ki je na razpolago, v enem letu. Npr. če si sposodimo 1000 € za eno leto po 10 % obrestni meri, bomo po izteku enega leta morali vrniti 1000 € plus 10 %, tj. 100 € za obresti, kar označimo s $p = 0{,}1$. Oz. če bi enak znesek položili na banko za eno leto, bi imeli na koncu 1100 €.

Seveda pa polog denarja na banko ni edina možnost investiranja. Lahko bi ga npr. vložili v nakup nepremičnine ali redkih, dragocenih znamk in z nekaj sreče dobili po enem letu 1 800 €, torej 80 % obresti. Zakaj torej vlagati denar na banko po 10 % obrestni meri, če obstaja možnost, da zaslužimo 80 %? Za to obstajata dva osnovna razloga:

1. Denar je smiselno vlagati v tiste dejavnosti, na katere se spoznamo. Kemijsko podjetje npr. investira v nove zmogljivosti za proizvodnjo kemikalij, ker ima o tem področju veliko znanja. Lahko investira tudi v nepremičnine, vendar je bolje, da pri tem sodeluje s strokovnjaki s področja nepremičnin.
2. Vsaka investicija je povezana z določenim tveganjem. Tako je varčevanje denarja na banki relativno varno, medtem ko je zgoraj omenjena filatelistična investicija tvegana, saj lahko cena znamk tudi pade.

2. Matematične metode v ekonomiki

Da bi se lahko lotili ekonomske analize projekta, bomo najprej spoznali matematična orodja, ki jih bomo pri tem potrebovali.

2.1. Obresti

Obresti so cena, ki jo moramo plačati za sposojeni denar. Na ekvivalenten način lahko izrazimo tudi korist, ki nam jo prinese investiranje denarja. Vzemimo, da smo določeno vsoto denarja naložili v banko. Ta začetna vsota se imenuje glavnica, G_0, p naj bo letna obrestna mera izražena z vrednostjo med 0 in 1 (procente pretvorimo v deleže!). Glede na obliko odvisnosti med časom obrestovanja in zneskom obresti ločimo tri načine izračunavanja, ki jih bomo predstavili v nadaljevanju:

1. navadni obrestni račun,
2. diskretni obrestno obrestni račun in
3. zvezni obrestno obrestni račun.

2.1.1. Navadni obrestni račun

Pri navadnem obrestnem računu ves čas računamo obresti od začetne glavnice, zato je znesek obresti, o, vsako leto enak in znaša:

$$o = G_0 \cdot p \tag{2.1}$$

tako da imamo po n letih na banki znesek, G_n:

$$G_n = G_0 + n \cdot o = G_0 (1 + n \cdot p) \tag{2.2}$$

Enostavni obrestni račun se najpogosteje uporablja za kratka obdobja, kjer je čas izražen npr. v dnevih.

2.1.2. Diskretni obrestno obrestni račun

Za obrestno obrestne izračune je značilno, da obresti ne računamo le od začetne glavnice, ampak tudi od vseh obresti, ki so nastale v preteklih obdobjih, zato znesek obresti s časom narašča. Če je osnova za izračun leto, govorimo o letnem obrestno obrestnem računu. Tako imamo po prvem letu na banki naslednji znesek:

$$G_1 = G_0 (1 + p) \tag{2.3}$$

in po drugem letu

$$G_2 = G_1 (1 + p) \tag{2.4}$$

Z združitvijo obeh enačb dobimo:

$$G_2 = G_0 (1 + p)^2 \tag{2.5}$$

ali splošno po n letih:

$$G_n = G_0 (1 + p)^n \tag{2.6}$$

Znesek obresti v drugem letu znaša:

$$\begin{aligned} o_2 &= G_2 - G_1 \\ &= G_0(1+p)^2 - G_0(1+p) \\ &= G_0(1+p)(1+p-1) \\ &= G_0(1+p)p \end{aligned} \tag{2.7}$$

oz. splošno za leto n:

$$o_n = G_0(1+p)^{n-1}p \tag{2.8}$$

Ta način izračunavanja obresti je v današnji bančni praksi izrazito prevladujoč, ker je za posojilodajalca (banke) bistveno ugodnejši od navadnega izračuna.

Naloga 2.1. Izračunajte vrednost glavnice 4 000 € po preteku 10 let z letno obrestno mero 12 %, če uporabimo navadni obrestni račun in diskretni obrestno obrestni račun. Kakšne so obresti v osmem letu izračunane z enim oz. drugim načinom obrestovanja?

Ni nujno, da obresti izračunavamo na letni osnovi, lahko jih izračunavamo tudi vsako četrtletje ali mesečno ali celo dnevno. V takem primeru izračunamo ***relativno obrestno mero***, $p_{\mathrm{r},m}$, kot delež letne obrestne mere, p:

$$p_{\mathrm{r},m} = \frac{p}{m} \tag{2.9}$$

kjer je m število izbranih časovnih obdobij v enem letu. Tako je m za polletni izračun enak 2, za četrtletni 4, za mesečni 12 in za dnevni 365 (oz. 366 za prestopno leto).

Vrednost vloženega denarja je tako po preteku n let enaka:

$$G_n = G_0(1+p_{\mathrm{r},m})^{mn} \tag{2.10}$$

Določanje relativne obrestne mere za obdobje krajše od enega leta, ki ga opisuje enačba (2.9), je zelo preprost, vendar ni povsem korekten, saj dobimo z uporabo relativne obrestne mere pri obrestovanju, ki je pogostejše od letnega, vedno večje končne vrednosti glavnice. Npr. pri 12 % letni obrestni meri je glavnica 100 € pri letnem obrestovanju po preteku enega leta vredna:

$$G = 100\ (1+0{,}12) = 112\ €$$

če je obrestovanje polletno, je vredna

$$G = 100\left(1+\frac{0{,}12}{2}\right)^2 = 112{,}36\ €$$

in pri mesečnem obrestovanju

$$G = 100\left(1+\frac{0{,}12}{12}\right)^{12} = 112{,}68\ €$$

Zato uporabljajo banke ***konformno obrestno mero***, ki zagotavlja, da dobimo iz začetne glavnice enako končno vrednost glavnice, ne glede na to, kako pogosto je bilo obrestovanje. Konformno obrestno mero, p_m, izračunamo z izenačitvijo enačb (2.6) in (2.10) :

$$G_0\,(1+p)^n = G_0\,(1+p_m)^{mn} \tag{2.11}$$

in dobimo:

$$p_m = \sqrt[m]{1+p} - 1 \tag{2.12}$$

Vrednost glavnice je po preteku n let enaka:

$$G_n = G_0\,(1+p_m)^{mn} \tag{2.13}$$

Z uporabo konformne obrestne mere je pri polletnem obrestovanju z 12 % letno obrestno mero glavnica 100 € po enem letu vredna:

$$G = 100\left(1+\sqrt[2]{1+0{,}12}-1\right)^2 = 112\ €$$

in do enakega rezultata pridemo tudi ob mesečnem obrestovanju.

Naloga 2.2. Vrednost glavnice je 600 €. Izračunajte njeno vrednost po dveh letih, če smo jo položili na banko s 14 % letno obrestno mero in je obrestovanje a) letno, b) mesečno.

2.1.3. Zvezni obrestno obrestni račun

Načeloma se dolžina časovnega intervala obrestovanja lahko približa vrednosti nič in v takem primeru govorimo o zveznem obrestno obrestnem računu. Za vsak diferencialni del krivulje čas - vrednost glavnice velja:

$$\mathrm{d}G = G\,p\,\mathrm{d}t \tag{2.14}$$

$$\int_{G_0}^{G_n} \frac{\mathrm{d}G}{G} = p\int_0^n \mathrm{d}t \tag{2.15}$$

$$\ln\frac{G_n}{G_0} = p\,n \tag{2.16}$$

$$G_n = G_0\,\mathrm{e}^{pn} \tag{2.17}$$

in znesek obresti v letu n je:

$$o_n = G_0\,\mathrm{e}^{pn}\,\frac{\mathrm{e}^p - 1}{\mathrm{e}^p} \tag{2.18}$$

Če želimo izračunati, s kakšno letno obrestno mero moramo obrestovati diskretno enkrat letno, da dosežemo znesek obresti, ki ustreza zveznemu načinu obrestovanja, izenačimo enačbi (2.6) in (2.17). Pri tem označimo zvezno obrestno mero s p_z in ustrezno diskretno obrestno mero s p_d.

$$G_0\,(1+p_d)^n = G_0\,\mathrm{e}^{p_z n} \tag{2.19}$$

In izrazimo:

$$p_{\mathrm{d}} = \mathrm{e}^{p_{\mathrm{z}}} - 1 \tag{2.20}$$

Naloga 2.3. Izračunajte vrednost glavnice 4000 € iz naloge 2.1., če uporabimo zvezni obrestno obrestni račun.

2.1.4. Inflacija

Inflacijo običajno podajamo s povprečno inflacijsko stopnjo, *f*. Videli smo že, da bo vrednost glavnice, ki smo jo vložili na banko, po enem letu enaka:

$$G_1 = G_0\,(1+p) \tag{2.3}$$

Problem zgornje enačbe je v tem, da ne upošteva zmanjševanja realne vrednosti denarja zaradi inflacije. Tako bo vrednost glavnice po enem letu dejansko manjša in sicer:

$$G_1' = \frac{G_1}{1+f} \tag{2.21}$$

Če združimo obe enačbi, je dejanska vrednost glavnice po enem letu:

$$G_1' = G_0\,\frac{1+p}{1+f} \tag{2.22}$$

oziroma po preteku n let:

$$G_n' = G_0\left(\frac{1+p}{1+f}\right)^n \tag{2.23}$$

Izraz

$$r = \frac{1+p}{1+f} - 1 \tag{2.24}$$

predstavlja realno stopnjo rasti in v bančnih pogojih pomeni ***realno obrestno mero*** in enačbo (2.22) lahko preuredimo v obliko, ki prikazuje stopnjo realne rasti:

$$G_1' = G_0\,(1+r) \tag{2.25}$$

Enačbi (2.22) in (2.23) kažeta na dejstvo, da se vrednost glavnice zaradi obresti zvišuje, zaradi inflacije pa zmanjšuje. Vrednost glavnice bo rasla samo, če bo $p > f$.

V primeru, da G_0 predstavlja znesek posojenega denarja, si bo posojilodajalec izračunal njegovo prihodnjo vrednost, t.j. znesek, ki mu ga mora dolžnik vrniti po *n* letih, takole:

$$G_n' = G_0\left[(1+r)(1+f)\right]^n \tag{2.26}$$

in s tem dosegel, da mu bo dolžnik plačal obresti za posojen denar ter obenem pokril tudi zmanjševanje vrednosti zaradi inflacije.

Naloga 2.4. 400 € smo vezali na banki za obdobje 5 let s 4 % letno obrestno mero. Kakšen bo znesek po preteku tega obdobja? Kolikšna je realna letna rast, če je povprečna mesečna inflacija 0,1 %?

Naloga 2.5. Stanovanje stane danes 40 000 €. Banka ponuja za vezana sredstva 5 % nominalno letno obrestno mero. Predvidena rast cen je 1,8 % na leto. Koliko denarja moramo vložiti v banko danes, da bi lahko kupili stanovanje čez 30 let? Izračunajte na dva načina: z nominalno metodo in z realno metodo.

2.1.5. Sedanja in prihodnja vrednost

Do sedaj je bila diskusija o obrestih omejena na primer, ko denar položimo na banko in dobimo od banke določene obresti. Vendar veljajo omenjena pravila tudi za druge finančne manipulacije, npr. če posodimo določeno vsoto denarja. Posojena vsota predstavlja glavnico, ki jo označimo z *S*, vrednost dolga po preteku *n* let naj bo *P*. Če npr. podjetje posodi 10^6 € po obrestni meri 10 %, bo po izteku enega leta neplačan dolg, če uporabimo zvezni obrestno obrestni izračun:

$$10^6\, e^{0,1\cdot 1} = 1{,}105 \cdot 10^6 \text{ €}$$

Govorimo lahko o investiciji *S*, ki ob koncu leta *n* prinese zaslužek *P*, na kar lahko gledamo, kot da bi *S* investirali pri določeni obrestni meri, kot v enačbi (2.6):

$$P = S(1+p)^n \tag{2.27}$$

Enačba (2.27) pa ima še globlji pomen, saj opisuje časovno spreminjanje vrednosti denarja. V tem kontekstu predstavlja *S* ***sedanjo vrednost*** nekega prihodnjega prihodka ali odhodka *P*. Koncept sedanje vrednosti in časovnega spreminjanja vrednosti denarja je izjemno pomemben pri ekonomski analizi projektov.

Izbira obrestne mere pri izračunu sedanje vrednosti je odvisna od problema, ki ga obravnavamo. Seveda pa velja, da je sedanja vrednost manjša od vrednosti nekega prihodka ali odhodka v prihodnosti in je tem manjša, čim višja je obrestna mera.

Vpeljimo še pojem ***prihodnja vrednost*** investicije, izdatka ali prihodka: prihodnjo vrednost predstavlja izraz *P* v zgornji enačbi. Npr. če je obrestna mera 10 %, bo prihodnja vrednost 1000 € čez 10 let enaka $1000(1+0{,}1)^{10} = 2593{,}74$ €.

Naloga 2.6. 1000 d.e. smo investirali v nek posel in po enem letu dobili 1500 d.e. S kakšno obrestno mero se je obrestoval denar v tem poslu?

Naloga 2.7. Pričakujemo, da se bo denar v novem projektu obrestoval 15 % letno. Kolikšen znesek moramo vložiti, da bomo po petih letih imeli 1000 d.e.?

Naloga 2.8. Denar bi lahko investirali v dva projekta: s prvim bi čez deset let zaslužili 1000 d.e., z drugim pa 2500 d.e. čez 20 let. Kateri projekt izkazuje večjo sedanjo vrednost, če je sprejemljiva obrestna mera za investitorja 10 %?

Naloga 2.9. Kakšna je sedanja vrednost 100 000 d.e., ki smo jih investirali v raziskovalni projekt pred dvema letoma (p=0,14)?

2.2. Sedanja vrednost denarnih tokov

V poglavjih 2.1.2. in 2.1.3. smo spoznali diskretni in zvezni obrestno obrestni račun. Enačbe, ki smo jih pri tem zapisali, lahko uporabimo za izračun prihodnje vrednosti nekega denarnega zneska, ki ima v trenutku nič vrednost *S*. Obratna računska operacija, kjer za prihodnje denarne tokove izračunavamo sedanjo vrednost, se imenuje ***diskontiranje***.

2.2.1. Kaj je denarni tok?

Projekt spremlja vrsta denarnih tokov, ki tečejo vanj ali iz njega. Če si predstavljamo projekt kot nek omejen sistem, predstavljajo denarni tokovi tok gotovine skozi meje projekta. Npr. denarni tokovi, ki tečejo iz projekta, so investicija, vsakodnevni stroški, ki jih moramo sproti poravnavati, plačilo davka ipd. Denarni tokovi, ki pritekajo v projekt, so v glavnem prihodki od prodaje produkta. Po definiciji so denarni tokovi iz projekta negativni, denarni tokovi v projekt pa pozitivni.

Denarne tokove delimo na diskretne in zvezne. Diskretni denarni tokovi vstopajo (izstopajo) v (iz) projekta na koncu vsakega leta, ki sledi izbranemu trenutku 0, na začetku vsakega leta pred trenutkom nič in tudi natanko v trenutku nič, ki predstavlja osnovo za izračun sedanje vrednosti. Trenutek nič lahko izberemo kjerkoli na časovni osi in ni nujno enak sedanjemu trenutku. Zvezni denarni tokovi so predstavljeni z zveznimi funkcijami brez časovnih prekinitev.

2.2.2. Neto sedanja vrednost

Vsak denarni tok, pozitiven ali negativen, lahko pretvorimo na njegovo sedanjo vrednost. Vsota sedanjih vrednosti vseh denarnih tokov se imenuje ***neto sedanja vrednost*** (*NSV*) in je izredno pomemben kriterij ekonomske (ne)obetavnosti projekta. Vzemimo projekt z naslednjimi denarnimi tokovi:

Čas	Denarni tok, €
0	- 1000 (začetna investicija)
Konec 1. leta	+ 500
Konec 2. leta	+ 400
Konec 3. leta	+ 300

Neto sedanjo vrednost izračunamo v tem primeru z naslednjo enačbo:

$$NSV = -I_0 + \sum_{k=1}^{3} \frac{C_k}{(1+p)^k} \tag{2.28}$$

kjer C_k predstavlja denarni tok v letu *k*. Če bi bila vrednost denarja konstantna (p = 0), bi bila neto sedanja vrednost projekta:

– 1000 + (500 + 400 + 300) = 200 €

Rezultat je pozitiven, kar kaže, da bi s projektom lahko zaslužili, vendar pa nas zanima, ali bi lahko denar investirali še bolje. Zato moramo preveriti, ali projekt ustreza vsaj minimalnim kriterijem glede donosnosti, ali pa bi bilo ugodneje denar posoditi z recimo 14 % obrestno mero. Določimo lahko tudi, ali projekt zadošča zahtevi vodstva po minimalni 10 % stopnji donosnosti. Za to uporabimo enačbo (2.6), s katero vsak denarni tok diskontiramo na trenutek nič:

$$NSV = -1000 + \frac{500}{(1+0{,}1)^1} + \frac{400}{(1+0{,}1)^2} + \frac{300}{(1+0{,}1)^3} = 10{,}52 \text{ €}$$

Izračunana neto sedanja vrednost je večja od nič, kar pomeni, da je ugodneje denar investirati v projekt, kot pa ga shraniti na banko za tri leta z 10 % obrestmi. Če je *NSV* projekta enaka nič, potem projekt s predvidenimi denarnimi tokovi še ravno ustreza pričakovanemu povečanju vrednosti denarja oz. prinaša enako korist, kot če bi denar naložili v banko z 10 % obrestno mero. Seveda je bolje, če je *NSV* večja od nič, ker je projekt v takem primeru manj občutljiv za tveganje in negotovost pri napovedih. Če je *NSV* projekta negativna, projekt ne zadovoljuje postavljenega kriterija donosnosti.

Poudariti velja, da ničelna neto sedanje vrednost še ne pomeni, da je projekt popolnoma neuporaben. Pomeni le, da projekt komaj zadovolji postavljenemu kriteriju za povečevanje vrednosti denarja s časom.

Naloga 2.10. Pred dvema letoma smo investirali 100 000 d.e. v raziskavo optimalnih obratovalnih pogojev v obstoječem obratu. Pričakujemo, da bomo v naslednjih treh letih prihranili vsako leto 47 000 d.e. Ali je investicija pri 10 % obrestni meri upravičena?

Naloga 2.11. Pri kateri obrestni meri bi bil projekt iz prejšnjega primera upravičen?

Naloga 2.12. Ali bi bil projekt upravičen, če bi denar vložili pred enim letom in je obrestna mera 10 %?

Naloga 2.13. Kakšna je bila NSV projekta v trenutku, ko je bila izvedena investicija (glede na nalogo 2.12.)?

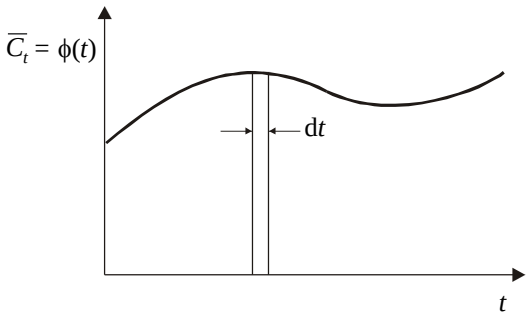
2.2.3. Zvezno diskontiranje zveznih denarnih tokov

V naslednjih poglavjih bomo spoznali postopke za ocenjevanje sedanje vrednosti zaporedja denarnih tokov. Prvi način uporablja zvezne metode in predpostavlja zvezne denarne tokove. Diskretni denarni tok bomo označevali s črko *C*, njegovo sedanjo vrednost pa z *S*. Če nekoliko modificiramo enačbo (2.17), dobimo naslednji izraz:

$$S = C\,\mathrm{e}^{-pt} \tag{2.29}$$

kjer *t* predstavlja čas, v katerem se zgodi *C*. Če je denarni tok izražen v denarni enoti na časovno enoto (npr. €/a), ga lahko predstavimo z zvezno funkcijo:

$$\overline{C}_t = \phi(t) \tag{2.30}$$



Za diferencialno majhen časovni interval d*t* lahko zapišemo diferencialni denarni tok:

$$\mathrm{d}C = \phi(t)\,\mathrm{d}t \tag{2.31}$$

in $$\mathrm{d}S = \mathrm{d}C\,\mathrm{e}^{-pt} \tag{2.32}$$

Z združitvijo enačb (2.31) in (2.32) dobimo:

$$\mathrm{d}S = \phi(t)\,\mathrm{e}^{-pt}\,\mathrm{d}t \tag{2.33}$$

Ta izraz integriramo čez časovno obdobje n let in dobimo:

$$S = \int_0^n \phi(t)\,\mathrm{e}^{-pt}\mathrm{d}t \tag{2.34}$$

Zaradi pomanjkljivih podatkov pogosto predpostavimo konstanten denarni tok, $\phi(t) = \overline{C}$. V tem primeru dobi enačba (2.34) naslednjo rešitev:

$$S = \frac{\overline{C}}{p}\,\frac{\mathrm{e}^{pn} - 1}{\mathrm{e}^{pn}} \tag{2.35}$$

kjer je $\overline{C}$ letni denarni tok. Celotni denarni tok $C = \overline{C}n$, zato je:

$$S = \frac{C}{pn}\,\frac{\mathrm{e}^{pn} - 1}{\mathrm{e}^{pn}}$$

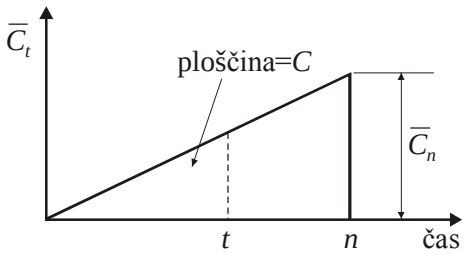
Izraz

$$F_{\mathrm{D}} = \frac{1}{pn}\,\frac{\mathrm{e}^{pn} - 1}{\mathrm{e}^{pn}} \tag{2.36}$$

predstavlja ***diskontni faktor***; to je število, s katerim pomnožimo celotni denarni tok, da dobimo njegovo sedanjo vrednost.

Seveda je konstantni denarni tok v praksi redek. Zato je potrebno dobiti distribucijo denarnih tokov s sistematsko raziskavo tržišča. Največkrat funkcije ϕ(t) ni mogoče izraziti analitično, zato enačbo (2.34) integriramo numerično. Distribucije denarnih tokov, ki jih najpogosteje srečamo, so trikotna, Gompertzova, logistična, normalna, Weibull-ova itd.

Naloga 2.14. Denarni tok narašča linearno, kot prikazuje slika, v n letih. Celotni znesek znaša C. Izpeljite izraz za sedanjo vrednost.



2.2.4. Diskretno diskontiranje diskretnih denarnih tokov

Čeprav se metoda zveznega diskontiranja vse bolj uveljavlja, pa večina inženirjev še vedno raje uporablja diskretni način, ki predstavlja osnovo za primerjavo. Splošni izraz za sedanjo vrednost zaporedja diskretnih denarnih tokov, C_k, lahko zapišemo z uporabo enačbe (2.27):

$$S = \sum_{k=1}^{n} \frac{C_k}{(1+p)^k} \tag{2.37}$$

Za izračun sedanje vrednosti, S, z enačbo (2.37) moramo poznati vrednosti denarnih tokov, C_k, za vsa leta, ki jih obravnavamo. Pri tem je C_k po dogovoru diskretni dogodek, ki se zgodi na koncu leta k, če gre za prihodnje leto, oz. na začetku leta k, če gre za minulo leto.

Izračunajmo sedanjo vrednost za n enakih denarnih tokov $C_k = R$. Ta izraz vstavimo v enačbo (2.37):

$$S = R \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{(1+p)^k}$$

Vsota predstavlja geometrično zaporedje, pri katerem je prvi člen enak

$$a_1 = \frac{1}{1+p}$$

in količnik

$$q = \frac{a_k}{a_{k-1}} = \frac{\dfrac{1}{(1+p)^k}}{\dfrac{1}{(1+p)^{k-1}}} = \frac{1}{1+p}$$

Vsoto prvih n členov geometričnega zaporedja izračunamo z enačbo:

$$\sum_{k=1}^{n} a_k = a_1 \frac{q^n - 1}{q - 1} \tag{2.38}$$

ki dobi v našem primeru naslednjo obliko:

$$S = R\,(1+p)^{-1} \frac{\left[(1+p)^{-1}\right]^n - 1}{(1+p)^{-1} - 1} = \frac{R}{p} \frac{(1+p)^n - 1}{(1+p)^n} \tag{2.39}$$

Ker je celotni denarni tok $C = Rn$, dobimo:

$$S = \frac{C}{np} \frac{(1+p)^n - 1}{(1+p)^n} \tag{2.40}$$

in izraz za diskontni faktor:

$$F_D = \frac{(1+p)^n - 1}{np\,(1+p)^n} \tag{2.41}$$

Naloga 2.15. Na varčevalni račun smo položili 16 000 €, ki se obrestujejo z 8 % letno obrestno mero. Kolikšen znesek lahko dvignemo vsako leto v naslednjih desetih letih, če so vsi zneski enaki?

Naloga 2.16. Kakšen znesek moramo položiti na račun, ki se obrestuje s 6 % letno obrestno mero, da bi lahko v naslednjih petih letih vsako leto dvignili 400 €?

2.2.5. Zvezno diskontiranje diskretnih denarnih tokov

Zvezno diskontiranje diskretnih denarnih tokov je precej razširjeno, npr. banke diskretne pologe pogosto obrestujejo zvezno; plačilo davka je diskretni dogodek, ki ga lahko diskontiramo zvezno v okviru ekonomske analize.

Zvezno diskontiranje diskretnih finančnih dogodkov predstavlja enačba (2.29), ki jo za leto k zapišemo:

$$S = C_k \, \mathrm{e}^{-pk} \tag{2.42}$$

Sedanjo vrednost zaporedja denarnih tokov potem izračunamo z enačbo:

$$S = \sum_{k=1}^{n} C_k \, \mathrm{e}^{-pk} \tag{2.43}$$

Podobno kot v poglavju 2.2.4. lahko tudi tukaj izračunamo sedanjo vrednost za n enakih denarnih tokov $C_k = R$ in ustrezen diskontni faktor.

2.3. Periodična plačila

Periodična plačila (anuitete) so plačila, ki jih izvajamo redno v določenih časovnih intervalih, npr. mesečnih ali letnih, z namenom vračanja dolga ali varčevanja. Najpogosteje so anuitete porazdeljene časovno enakomerno in so tudi enako velike. V takšnem primeru je za izračun dovolj, da poznamo tri parametre:

- obrestno mero, p, in vrsto obrestnega izračuna, ki je uporabljen,
- število enakih letnih obrokov, n,
- glavnico, S.

V enačbi (2.39) smo zapisali sedanjo vrednost zaporedja enakih diskretnih denarnih tokov, R, kot:

$$S = \frac{R}{p} \, \frac{(1+p)^n - 1}{(1+p)^n} \tag{2.39}$$

Vzemimo, da predstavljajo denarni tokovi, R, periodične obroke za odplačilo kredita (označimo jih z a), potem je njihova sedanja vrednost, S, ekvivalentna osnovnemu znesku kredita, t.j. glavnici. S preureditvijo enačbe (2.39), dobimo izraz, s katerim izračunamo anuitete za izbrano glavnico.

$$a = S\,p \, \frac{(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \tag{2.44}$$

Enačba (2.44) velja v primeru, ko plačujemo anuitete na koncu izbranega obdobja. Če plačujemo anuitete na začetku obdobja, je anuiteta ustrezno manjša in jo izračunamo z naslednjo enačbo:

$$a = \frac{Sp}{(1+p)} \frac{(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \tag{2.45}$$

Parametri S, p in n v celoti definirajo vrednost anuitete a. Pri računanju mesečnih anuitet moramo letne vrednosti za p pretvoriti v ustrezne mesečne vrednosti (p_m) z uporabo enačbe (2.12), eksponent n v enačbi (2.44) nadomestimo z eksponentom mn.

Naloga 2.17. Kemijski inženir v ZDA bi rad kupil hišo, ki stane 120 000 USD. Ima 20 000 USD gotovine, za ostalo bi najel posojilo, ki bi ga odplačeval 25 let ob 15 % letni obrestni meri. Kakšen bo mesečni obrok?

Naloga 2.18. Mlada družina bo najela stanovanjsko posojilo v vrednosti 20 000 €, ki ga bo odplačevala 15 let. Kakšen bo začetni mesečni obrok, če znaša Euribor 2 % in marža banke 2,5 %?

2.3.1. Periodična plačila iz obresti

Obravnavajmo poseben problem, ko želimo odgovoriti na vprašanje, kakšna glavnica je potrebna, da bi določene periodične obveznosti lahko plačevali le iz obresti na glavnico, kar z drugimi besedami pomeni, da bi te obveznosti lahko plačevali neskončno dolgo, ne da bi se vrednost glavnice zmanjšala.

Naj bosta dve zaporedni izplačili vsakih n let. Potem velja, da mora biti anuiteta enaka:

$$a = S(1+p)^n - S \tag{2.46}$$

oziroma za eno leto (n = 1):

$$a = S\,p \tag{2.47}$$

Z uporabo enačb (2.46) oz. (2.47) lahko izračunamo potrebno vrednost glavnice, S, da bo anuiteta ravno enaka obrestim v tem obdobju.

Naloga 2.19. Kakšno vrednost glavnice mora imeti pokojninski sklad, da bo iz obresti 3000 upokojencev prejemalo letno pokojnino v znesku 7200 €? Predpostavimo, da bo glavnica obrestovana z zveznim obrestno obrestnim računom in 10 % obrestno mero.

Naloga 2.20. Za nadomestilo neke procesne naprave bomo čez 10 let potrebovali 10 000 €. Koliko denarja bi morali vezati (p=0,12), če bi želeli novo napravo kupiti iz obresti, glavnico pa pustiti nespremenjeno. Inflacije ne upoštevamo.

2.3.2. Periodična plačila z namenom varčevanja

Kako pa je v primeru, kadar želimo redno vplačevati določen znesek R z namenom, da bomo imeli po izteku n let vrednost P? Prihodnjo vrednost, P, neke investicije, S, smo zapisali z enačbo (2.27):

$$P = S(1+p)^n \tag{2.27}$$

Če iz enačbe (2.27) izrazimo S in ga vstavimo v enačbo (2.39), dobimo izraz, s katerim lahko izračunamo znesek, ki nam bo po preteku n let dal skupno vrednost P:

$$R = P\,p\,\frac{1}{(1+p)^n - 1} \tag{2.48}$$

Enačba (2.48) velja v primeru, ko vplačujemo zneske na koncu izbranega obdobja. Če vplačujemo zneske na začetku obdobja, so ti ustrezno manjši in jih izračunamo z naslednjo enačbo:

$$R = \frac{Pp}{1+p}\,\frac{1}{(1+p)^n - 1} \tag{2.49}$$

Naloga 2.21. Na račun položimo vsak mesec 80 €. Koliko bomo privarčevali v treh letih, če je letna obrestna mera 13 %?

Naloga 2.22. Koliko denarja bo na računu po 10 letih, če vsako leto vložimo 800 €? Obrestovanje je 8 % letno, denar vložimo prvič čez eno leto.

Naloga 2.23. Čez deset let bi radi imeli na računu 4000 €. Letna obrestna mera je 8 %. Kolikšno vsoto naj vloži varčevalec ob koncu vsakega leta, da bo čez 10 let dosegel želeni znesek? Kolikšni bi bili obroki, če bi jih vlagali na začetku vsakega leta? Kolikšni bi bili mesečni obroki, če bi bilo vplačilo na koncu vsakega meseca?

2.4. Amortizacija kredita

Izraz amortizacija kredita pomeni odplačevanje kredita s periodičnimi obroki, ki jih imenujemo anuitete (letne, polletne, mesečne). Vsaka anuiteta je sestavljena iz obresti in razdolžnine. Razdolžnina predstavlja znesek, za katerega se zmanjša vrednost neodplačanega dela glavnice. Glede na razmerje med obrestmi in razdolžnino ločimo anuitetni in obročni način amortiziranja kredita. Anuitetni način je primernejši za fizične osebe, obročni način pa za pravne osebe, ki v računovodskih podatkih obravnavajo obresti drugače kot vračanje glavnice.

2.4.1. Anuitetni način

Pri anuitetnem načinu je anuiteta nespremenljiva, znotraj nje pa se spreminjata deleža obresti in razdolžnine. Tako delež obresti pada in delež razdolžnine raste.

Denimo, da podjetje vzame kredit v znesku 2 milijona €, ki ga bo vrnilo v petih zaporednih letnih obrokih z 8 % letno obrestno mero. Znesek letne anuitete izračunamo z uporabo enačbe (2.44):

$$a = 2\,000\,000 \cdot 0{,}08\,\frac{(1+0{,}08)^5}{(1+0{,}08)^5 - 1} = 500\,913\ €$$

Od tega zneska najprej odštejemo obresti od preteklega preostanka dolga in s tem dobimo razdolžnino za tekoče leto. Za to razdolžnino se dejansko zmanjša neodplačana glavnica. Za prvo leto torej dobimo:

anuiteta: a_1 = 500 913 €
obresti: o_1 = 2 000 000 · 0,08 = 160 000 €
razdolžnina: $Q_1 = a_1 - o_1$ = 500 913 – 160 000 = 340 913 €
vrednost neodplačane glavnice: $G_1 = G_0 - Q_1$ = 2 000 000 – 340 913 = 1 659 087 €

Postopek nadaljujemo po zgornjem vzorcu še za preostala štiri leta in dobimo celotni amortizacijski načrt:

Leto	Anuiteta	Obresti	Razdolžnina	Vrednost glavnice
0	–	–	–	2 000 000
1	500 913	160 000	340 913	1 659 087
2	500 913	132 727	368 186	1 290 901
3	500 913	103 272	397 641	893 260
4	500 913	71 461	429 452	463 808
5	500 913	37 105	463 808	0
	2 504 565	504 565	2 000 000	

2.4.2. Obročni način

Pri obročnem načinu je razdolžnina nespremenljiva. Obresti za vsako leto se računajo od neodplačane glavnice preteklega leta. Anuiteta je vsota razdolžnine in obresti. Ker je znesek neodplačane glavnice vse manjši, se obresti zmanjšujejo, s tem pa tudi anuiteta.

Vzemimo enak primer kot v poglavju 2.4.1., t.j. posojilo v znesku 2 milijona €, 8 % letno obrestno mero in petletnim obdobjem odplačevanja. Uporabimo obročni način amortiziranja kredita.

Vsaka razdolžnina znaša petino kredita, to je 400 000 €. Za prvo leto dobimo:

razdolžnina: Q_1 = 400 000 €
obresti: o_1 = 2 000 000 · 0,08 = 160 000 €
anuiteta: $a_1 = Q_1 + o_1$ = 560 000 €
vrednost neodplačane glavnice: $G_1 = G_0 - Q_1$ = 2 000 000 – 400 0000 = 1 600 000 €

Amortizacijski načrt v primeru obročnega načina odplačevanja je naslednji:

Leto	Anuiteta	Obresti	Razdolžnina	Vrednost glavnice
0	–	–	–	2 000 000
1	560 000	160 000	400 000	1 600 000
2	528 000	128 000	400 000	1 200 000
3	496 000	96 000	400 000	800 000
4	464 000	64 000	400 000	400 000
5	432 000	32 000	400 000	0
	2 480 000	480 000	2 000 000	

2.5. Doba vračanja

Najenostavnejši kriterij ekonomske uspešnosti, ki ne upošteva časovnega spreminjanja vrednosti denarja, je doba vračanja (payback period, payout time). Definirana je kot čas (npr. v letih), ki je potreben, da se vložena investicijska sredstva povrnejo z vsoto letnih denarnih tokov (donosov). Če so denarni tokovi konstantni, lahko zapišemo:

$$t_{\mathrm{VR}} = \frac{I_{\mathrm{os}}}{C_{\mathrm{A}}} \tag{2.50}$$

kjer je:

t_{VR} doba vračanja (a)
I_{os} investicija (€)
C_{A} letni denarni tok (€/a).

Doba vračanja ne razlikuje med zgodnjimi in poznimi denarnimi tokovi in tudi ne pove nič o donosih projekta potem, ko je bila investicija povrnjena. Njena pozitivna stran je, da ni potrebno predpostaviti življenjske dobe projekta in obrestne mere.

Naloga 2.24. Preučujemo dva zanimiva projekta. Oba imata življenjsko dobo 10 let. Projekt A zahteva naložbo 100 000 € in ima prvih 5 let denarni tok 20 000 €, preostalih 5 let pa 10 000 €. Projekt B ima enako naložbo in letni donos 15 000 € vseh 10 let. Ocenite projekta s kriterijem neto sedanje vrednosti in dobe vračanja. Obrestna mera naj bo 10 %.

---

3. Sistematični pristop k razvoju projektov

V prejšnjih poglavjih smo spoznali, kaj je namen ekonomske analize projekta in nekaj osnovnih matematičnih orodij, ki jih za to potrebujemo. V tem poglavju se vračamo h konceptu ekonomskega ocenjevanja projektov, t.j. ocenjevanje investicije in dohodka, ki ju nato povežemo v kazalec ekonomske (ne)uspešnosti projekta. Spoznali bomo tipično zaporedje aktivnosti pri izvajanju takšne analize in v naslednjih poglavjih še ustrezno metodologijo.

3.1. Razvrstitev ekonomskih ocen

Metode za ocenjevanje investicije se razlikujejo po kompleksnosti in s tem tudi po naporu, ki je potreben za izpeljavo ekonomske ocene. Katero od metod bomo izbrali, je odvisno od stopnje razvoja projekta. V zgodnji fazi razvoja uporabimo približne metode, ki so relativno enostavne in hitre. Ko razvoj projekta napreduje in se bližamo končni presoji, uporabljamo vse bolj komplicirane in natančne metode. Terminologija in klasifikacija ekonomskih ocen še nista standardizirani. AACE (American Association of Cost Engineers) predlaga pet stopenj ekonomskega ocenjevanja:

1. *Ocenjevanje velikostnega reda (Order of magnitude estimate)*. V najzgodnejši fazi razvoja projekta uporabimo enostavne metode, ki zahtevajo zelo malo informacij, npr. laboratorijske podatke ali podatke o drugih podobnih procesih. Nato s posebnimi eksponentnimi zvezami izračunamo velikost investicije ob upoštevanju razlike v obsegu proizvodnje. Odstopanje rezultatov takšnih metod je lahko preko ± 30 %. Čeprav določimo vrednost investicije samo približno (velikostni razred), so rezultati zelo pomembni, saj kažejo, ali se s projektom splača nadaljevati ali ne.
2. *Študijsko ocenjevanje (Study estimate)*. Takšno ocenjevanje opravimo v srednjih fazah razvoja projekta, ko je na voljo že nekaj več informacij iz laboratorijskih študij, inženirskih študij, pilotnih obratov ipd. Kompleksnost metod narašča, ravno tako njihova zanesljivost. Odstopanja so v razponu od ± 20 % do ± 30 % (tabela 3.1). Rezultati študijske analize lahko usmerjajo nadaljnji razvoj projekta, saj pokažejo, katera področja se splača še posebej pazljivo raziskati zaradi velikih stroškov. V tej stopnji se veliko projektov izkaže za neperspektivne, saj lahko detajlna analiza osvetli določene probleme, ki jih v zgodnjih fazah razvoja nismo opazili.
3. *Preliminarno ocenjevanje (Preliminary estimate)*. Če je projekt uspešno prestal študijsko ocenjevanje, je naloga inženirjev v naslednji fazi izračunati snovne in energijske bilance, pripraviti merno regulacijske sheme (P&ID), seznam procesnih enot in vrsto materialov, iz katerih bodo izdelane, izračunati velikost procesnih enot in toplotne tokove. Pri preliminarnem ocenjevanju nato vrednotimo vsako procesno enoto posebej ali pa majhne skupine procesnih enot oz. zgradb skupaj. Pri tem uporabljamo t.i. faktorske metode. S kvalitetnimi podatki je lahko natančnost ocenjevanja ± 20 % ali manj, v nasprotnem primeru le ± 25 %.

Tabela 3.1. Natančnost in stroški različnih vrst ekonomskih ocen

Vrsta ocenjevanja	Pričakovano območje natančnosti	Strošek ocenjevanja kot delež celotne vrednosti projekta
Podrobno ocenjevanje	± 2 % do ± 5 %	5 % do 10 %
Nadzorno ocenjevanje	± 5 % do ± 15 %	1 % do 3 %
Preliminarno ocenjevanje	± 10 % do ± 25 %	0,4 % do 0,8 %
Študijsko ocenjevanje	± 20 % do ± 30 %	0,1 % do 0,2 %
Ocenjevanje velikostnega reda	± 30 % do ± 50 %	0 % do 0,1 %

4. *Nadzorno ocenjevanje (Definitive estimate, Control estimate).* Če projekt skozi nadaljnje faze razvoja potrjuje svojo obetavnost, se je v določenem trenutku treba odločiti, ali bomo prešli v fazo uresničitve projekta t.j. gradnje. Vodstvo podjetja odloča, ali bo investiralo denar v realizacijo projekta, zato mora biti na tej točki ekonomska analiza zelo natančna in izvedena na osnovi najnovejših informacij. Četudi vsi detajli procesa še niso poznani, mora biti ocena dovolj natančna, da bo načrtovana investicija pokrila dejanske stroške uresničitve projekta brez večjih presenečenj. Namen nadzornega ocenjevanja je ustvariti natančen seznam predvidenih stroškov, s katerim lahko nadzorujemo dejanske stroške med postavitvijo obrata. Le-ti naj ne bi presegli sredstev, ki jih je odobrilo vodstvo. Odstopanja metod na tej stopnji so običajno znotraj območja ± 5 % do ± 10 %.
5. *Podrobno ocenjevanje (Detailed estimate)* izvajamo, ko je načrtovanje pretežno končano, podrobni seznami opreme pripravljeni in so dobavitelji opreme pripravili konkurenčne ponudbe. Seveda moramo upoštevati tudi vse druge izdatke za načrtovanje, vodenje, izgradnjo, montažo, zagon... Odstopanja so v intervalu ± 2 % do ± 5 %.

Kdo opravlja in kdo je odgovoren za vse te ocene? Običajno je to kemijski inženir iz vodstvene ekipe, ki mu na določenih stopnjah razvoja projekta pomagajo tudi ekonomisti. Kako pa inženir ve, katere metode bo kdaj uporabil? Odgovor je jasen za dva skrajna primera: v najzgodnejši fazi razvoja projekta bodo prišle v poštev enostavne metode z natančnostjo reda velikosti, v končni fazi pa zelo natančne in detajlne metode. Kaj pa vmes? Izbira je vedno prepuščena kemijskemu inženirju, ki si z izkušnjami pridobi tudi sposobnost za izbiro metod, ki so v danem trenutku najprimernejše.

3.2. Osnovne značilnosti predhodnega ocenjevanja projektov

Čeprav niti dva projekta nista popolnoma enaka, imajo postopki vrednotenja potencialne ekonomske uspešnosti projekta nekatere skupne značilnosti ne glede na naravo projekta. Značilnosti projekta so tesno povezane s tradicijo, ki jo ima izdelek v nekem podjetju. Glede na to, lahko projekte razvrstimo v naslednje skupine:

1. *Podjetje izdelek že proizvaja.* Takšni projekti vključujejo razvoj novega obrata za proizvodnjo obstoječega izdelka na obstoječi lokaciji (npr. povečanje kapacitete obrata), razvoj novega obrata na novi lokaciji ali razvoj obrata, ki temelji na novem procesu za proizvodnjo enakega izdelka.
2. *Izdelek obstaja, vendar ga podjetje še ne proizvaja.* To je zahtevnejša skupina projektov, saj kljub temu, da izdelek ni nov, predstavlja novost za podjetje.
3. *Nov izdelek.* To je najzahtevnejša skupina projektov, ker vsebuje največje število neznank.
4. *Projekti z omejenim obsegom,* so tisti projekti, ki ne spadajo v nobeno od zgornjih skupin, npr. spremembe obratov in izboljšave, pilotni obrati in polindustrijski projekti.

3.2.1. Mejniki v razvoju projekta

V razvoju projekta lahko definiramo različne stopnje, skozi katere projekt napreduje do zaključka, vendar se je treba zavedati, da pri tem ne gre za diskretne prehode med stopnjami ampak za kontinuiran razvojni proces.

1. Laboratorijske raziskave
   Definiramo želene lastnosti izdelka.
   Merimo fizikalne lastnosti.
   Študiramo reakcijske mehanizme, običajno šaržno, pogosto v steklenih posodah.
   Raziskujemo ločevanje z laboratorijsko opremo.
   Študiramo čiščenje produkta.
   Dodatne študije: strupenost, varno ravnaje s produktom, ravnanje z odpadki.

2. Mini obrat
   Na tej stopnji študiramo proces z nekoliko večjo opremo.
   Poskušamo povezati več procesnih stopenj med seboj.

Oprema je steklena, vendar že preučujemo možne materiale za realne procesne enote v obratu.
Preučujemo vpliv povratnih tokov.

3. Pilotni obrat
   Na pilotnem obratu študiramo problem povečanja procesa na realno industrijsko velikost.
   Uporabimo prototipne procesne enote.
   Študiramo ravnanje z odpadki.
   Študiramo regulacijo pilotnega obrata.

4. Polindustrijski obrat
   proizvaja izdelek za študij njegove dejanske tržne zanimivosti.
   Včasih sta pilotni in polindustrijski obrat združena.
   Polindustrijski obrat lahko predstavlja le nekaj premične opreme, lahko pa je to skupina popolnoma integriranih in avtomatiziranih enot, ki ni veliko manjša od industrijskega obrata načrtovane velikosti.

5. Priprava tržišča
   Namen priprave tržišča je ustvariti temelje za prihodnjo prodajo produkta.
   Ključna aktivnost je distribucija poskusnih količin izdelka do porabnikov in ugotavljanje njihovih posebnih želja in potreb v zvezi z izdelkom.

6. Odločanje o graditvi obrata v industrijskem merilu
   Odločitev sprejme vodstvo podjetja in odobri sredstva, ki so potrebna za postavitev industrijskega obrata. Na tej stopnji morajo biti lastnosti izdelka in procesa popolnoma definirane, da lahko pričnemo z izdelavo končnega, detajlnega načrta.

7. Postavitev obrata
   Ko je odobren denar in je izdelan končni načrt, sledi nabavljanje opreme in njena montaža.

8. Zagon obrata
   je zadnja stopnja v razvoju projekta, ki običajno traja do 4 mesece in zahteva sodelovanje tako inženirskega kot tudi raziskovalnega osebja.

3.2.2. Zaporedje korakov za predhodno ocenjevanje projekta

Predhodno ocenjevanje pomeni ocenjevanje projekta v njegovi zgodnji fazi razvoja. S tem razumemo obdobje, ko je projekt "še v laboratoriju", ko smo ugotovili, da je sinteza produkta tehnično izvedljiva, produkt sam pa obeta določeno tržno zanimivost. Tehnike in zaporedje predhodnega ocenjevanja pa lahko uporabimo tudi v nadaljnjih razvojnih stopnjah projekta.

Naslednji koraki opisujejo značilne postavke pri predhodnem ocenjevanju projekta. Ko napredujemo z razvojem projekta, lahko dobi ena ali druga postavka poseben poudarek, vendar ostaja zaporedje v osnovi enako do končne odobritve projekta ali še dlje.

1. Opis izdelka. Gre za iskanje podatkov in informacij, ki opisujejo lastnosti in naravo izdelka.
2. Raziskava tržišča. Odgovori na osnovno vprašanje, "Koliko bomo lahko prodali in po kakšni ceni?"
3. Izbira procesa. Odgovori na vprašanje, kako, na kak način bomo izdelek proizvajali.
4. Sinteza procesne sheme, masne in energijske bilance.
5. Izbira in načrtovanje procesne opreme. Pri predhodnem vrednotenju uporabimo enostavne (shortcut) metode.
6. Ocena investicije. Odgovori na vprašanje, koliko denarja bo potrebno investirati za postavitev obrata s kapaciteto, ki bo zadostila predvidenemu povpraševanju.
7. Ocena obratovalnih stroškov. Pove, koliko nas bo predvidoma stala proizvodnja izdelka.
8. Ocena ekonomske uspešnosti. Glede na izbrani ekonomski kriterij ocenimo donosnost projekta.

Prve štiri od naštetih postavk bomo na kratko opisali v tem poglavju, preostale bomo obravnavali posebej v naslednjih poglavjih.

3.3. Opis izdelka

Prvi korak pri raziskavi tržišča (in tudi pri celotnem postopku ocenjevanja projekta) je iskanje informacij, s katerimi lahko opišemo izdelek. Pri tem je poudarek na naslednjih postavkah:

- ***Specifikacija izdelka***
  Čistost: vrsta in največja dovoljena vsebnost nečistot.
  Oblika: agregatno stanje, velikost delcev, barva, lepljivost…
  Dodatki: različni aditivi (antioksidanti, dišave, barvila…)
- ***Lastnosti izdelka***
  Fizikalne lastnosti: ni potreben izčrpen seznam lastnosti, ampak tiste, ki so pomembne za za končno uporabo izdelka.
  Strupenost: posledice stika snovi s kožo in z očmi, posledice vdihavanja in zaužitja, maksimalna dovoljena koncentracija, morebitna karcinogenost, teratogenost in mutagenost.
  Varno ravnanje z izdelkom: meje vnetljivosti in eksplozivnosti, plamenišče, vnetišče, reaktivnost, nevarnost prašne eksplozije, zaščitne naprave in osebna zaščitna sredstva, postopki za varno ravnanje in transport.
- ***Uporaba izdelka***
  Kemijske značilnosti: pregled pomembnih kemijskih reakcij.
  Področja uporabe: obstoječa področja in predlogi za nova.

3.4. Raziskava tržišča

Osnovni namen raziskave tržišča je ugotoviti, koliko določenega proizvoda bomo lahko prodali in po kakšni ceni. Podatek o količini prodanih proizvodov je zelo pomemben, saj določa velikost obrata in s tem tudi potrebno investicijo.

Povpraševanje je lažje oceniti za proizvode, ki so že uveljavljeni na tržišču (npr. osnovne kemikalije), ker imamo na voljo statistične podatke o proizvodnji, porabi in cenah v preteklosti. Problem je težji, kadar razvijamo projekte za proizvodnjo specialnih kemikalij. Najtežja je ocena povpraševanja pri novih proizvodih, kjer uporabimo različne metode, da ocenimo tržno perspektivnost proizvoda:

1. *Neposredni stik z možnimi porabniki*.
2. *Analiza prodaje podobnih proizvodov*.
3. *Analiza možnih porabnikov*. Ocenjujemo rast proizvodnje pri glavnih porabnikih novega proizvoda. Npr. z uporabo statističnih podatkov o trendu porabe bombaža, lahko ocenimo, kakšen trend bo imelo povpraševanje po pesticidih za bombaž.
4. *Priprava tržišča*. Potencialne kupce poskusimo prepričati o kvaliteti novega izdelka tako, da dobijo poskusne količine.

3.4.1. Napoved povpraševanja

Za napoved povpraševanja po nekem kemijskem izdelku, ki je že na tržišču, uporabimo statistične podatke o pretekli proizvodnji tega izdelka. Raziskava tržišča tako za obstoječe izdelke pomeni povezavo statističnih informacij o proizvodnji izdelka na tistem nivoju, ki nas zanima, npr. regionalnem, nacionalnem ali svetovnem. Pri uporabi preteklih podatkov o proizvodnji seveda predpostavimo, da je bila pretekla poraba enaka proizvodnji in nato ugotovljeni trend v preteklosti projeciramo v prihodnost. To naredimo tako, da podatke povežemo v eno izmed možnih krivulj, s katerimi opisujemo različne trende, ter krivuljo ekstrapoliramo v prihodnost. Pri tem uporabljamo naslednje matematične zveze:

1. *Polinom*. Splošna oblika je:

$$p = a + bt + ct^2 + \ldots \tag{3.1}$$

kjer je p proizvodnja (ali poraba) v letih od 0 do t in a, b, c,… so konstante. Najenostavnejša je zveza, ki predstavlja linearno rast porabe s časom:

$$p = a + bt \tag{3.2}$$

2. *Logaritemska funkcija*. Ima naslednjo splošno obliko:

$$\log p = a + bt + ct^2 + ... \tag{3.3}$$

Pogosto za opis stalne rasti uporabimo enostavno logaritemsko funkcijo:

$$\log p = a + bt \tag{3.4}$$

Če podatki o proizvodnji (porabi) ustrezajo gornji enačbi, je odvisnost logaritma porabe od časa linearna in krivulja je dejansko premica. Veliko kemijskih izdelkov izkazuje takšno rast, zato poskusimo, kadar opazimo stalno rast proizvodnje, opisati podatke z eno od linearnih enačb (3.2) ali (3.4). Najboljšo premico izračunamo z uporabo metod linearne regresijske analize, npr. z metodo najmanjših kvadratov.

Projekcija preteklih trendov v prihodnost lahko da napačne napovedi še zlasti, če se zgodi kaj nepredvidenega v zvezi z izdelkom, npr. pojavi se konkurenca z boljšim izdelkom, ali odkrijejo škodljiv vpliv izdelka na ljudi ipd.

Pomemben del raziskave tržišča za obstoječe izdelke je tudi pregled obstoječih proizvajalcev. Pri tem nas zanima seznam proizvajalcev, lokacija obratov, njihova skupna kapaciteta, velikosti posameznih obratov in njihova geografska porazdelitev. Na osnovi teh podatkov lahko ocenimo kapaciteto načrtovanega obrata.

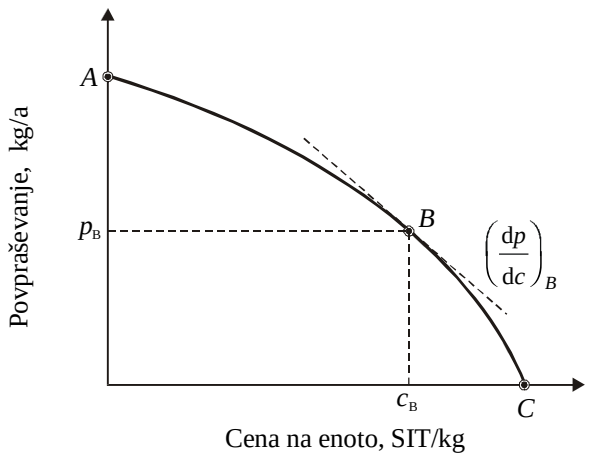
Pomembna metoda pri napovedovanju povpraševanja obstoječih in novih izdelkov pa je zbiranje informacij o proizvodnji in načrtovani rasti proizvodnje pri potencialnih porabnikih izdelka. Tako npr. lahko napovemo rast povpraševanja po aditivih za nek sintetični elastomer, če poznamo trend rasti proizvodnje tega elastomera.

Napovedano povpraševanje seveda še ne pomeni, da bomo takšno količino tudi zares prodali (vsaj ne takoj na začetku). Prodiranje izdelka na tržišče je odvisno od številnih dejavnikov. Npr. novo, izjemno učinkovito zdravilo bo verjetno prodrlo na tržišče v zelo kratkem času. Po drugi strani pa je lahko prodiranje izdelkov na tržišče, kljub dobrim lastnostim, zelo počasno. Vzrok za to je lahko med drugim v tem, da so kupci v veliki meri nenaklonjeni spremembam, da so lojalni do obstoječih dobaviteljev, morda izdelka ne poznajo dovolj, še posebej njegovih morebitnih škodljivih učinkov ipd.

a) Cenovna prožnost povpraševanja

Pri nekaterih izdelkih ali storitvah je povpraševanje tesno povezano s ceno, npr. počitniška potovanja. Pri drugih izdelkih, kot npr. hrana, električna energija, cena le malo vpliva na potrošnjo. Podjetje, ki želi prodreti na tržišče z novim izdelkom ali povečati ponudbo obstoječega izdelka, mora poznati odvisnost povpraševanja od cene izdelka. Krivulja, ki bi prikazovala takšno odvisnost, bi bila izjemno koristna, a žal je težko in dolgotrajno priti do nje. Podatke bi lahko priskrbela prodajna služba na podlagi neposrednih stikov z obstoječimi in potencialnimi kupci, intervjuji, anketami itd.

Cenovna prožnost povpraševanja, E, je definirana kot razmerje med spremembo povpraševanja, dp, (izraženo v odstotkih ali deležih) in spremembo prodajne cene, dc, (izraženo v odstotkih ali deležih), pri čemer negativni predznak izraža znano pravilo, da povpraševanje pada, če prodajna cena narašča (slika 3.1):



Slika 3.1. Povpraševanje v odvisnosti od cene

$$E = -\frac{dp/p}{dc/c}$$

ali $$E = -\frac{c}{p}\frac{dp}{dc} \tag{3.5}$$

Čeprav imamo redko na voljo ustrezne podatke za takšno krivuljo, pa prožnost pogosto opisujemo kvalitativno. Če je E za nek izdelek enaka 1, pomeni, da se ob povečanju cene za nekaj odstotkov povpraševanje zmanjša za enak odstotek. Neelastični izdelki imajo E < 1; to pomeni, da ima cena relativno majhen vpliv na povpraševanje. Takšni so izdelki, ki so nepogrešljivi, npr. naftni derivati. Elastični izdelki imajo $E > 1$ in pri njih ima cena zelo velik vpliv na povpraševanje. Takšen primer so luksuzni izdelki in izdelki, ki imajo na voljo substitute, npr. različne vrste mesa, različni izdelki za shranjevanje hrane (plastični foliji za živila konkurirajo aluminijasta folija, papir in plastične posode za hrano).

Pomembno vlogo igra tudi čas, ki ga kupci porabijo, da se odzovejo na spremembo cen, npr. dvig cen naftnih derivatov kratkoročno ne vpliva na zmanjšanje porabe, dolgoročno pa se industrija in posamezniki morajo prilagoditi novim cenam.

Pri neelastičnih proizvodih povečanje ponudbe (in s tem znižanje cene) ne prinese tudi večjega prihodka, saj se povpraševanje le malo spremeni (npr. presežek žit ob dobrih letinah). V primeru elastičnih proizvodov pa znižanje cene lahko privede do večjega prihodka, ker se znatno poveča povpraševanje (npr. nižje cene letalskih vozovnic).

Zbiranju podatkov za krivuljo povpraševanje-cena se ponavadi posvetimo v končnih fazah projekta. Za obstoječe produkte pa lahko že na začetku dobimo določeno aproksimacijo. Točka *B* na sliki 3.1. predstavlja obstoječe povpraševanje pri dani ceni. Točka *C* predstavlja ceno, pri kateri bo dobiček kupca izdelka enak nič. Da dobimo to točko, moramo poznati proces, za katerega bi potencialni kupci kupovali izdelek in njegovo ekonomiko. Točka *A* predstavlja povpraševanje po izdelku, če bi bil le-ta zastonj. Pri preliminarnem ocenjevanju vzamemo, da je to povpraševanje kar enako skupni kapaciteti vseh podjetij oz. obratov, ki bi bili potencialni kupci.

Te tri točke nato opišemo z naslednjo zvezo:

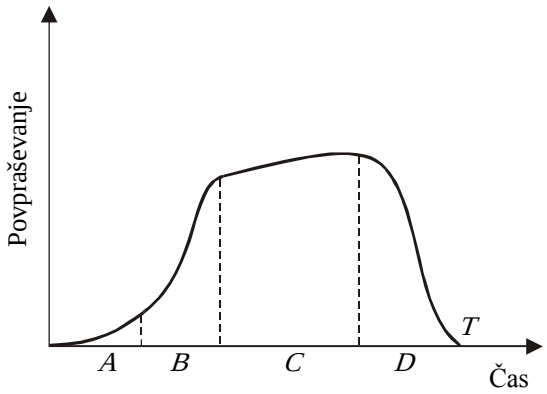
$$c = a_1 + a_2 p^{a_3} \tag{3.6}$$

kjer konstante a_1, a_2 in a_3 določimo z uporabo vrednosti v točkah *A*, *B* in *C*.

Naloga 3.1. Toluen diizocianat je surovina za proizvodnjo poliuretanskih pen. Podjetje proda letno 100 milijonov kg po ceni 1 €/kg. Ocenjujejo, da bi lahko povečali prodajo na 450 milijonov kg/a, če bi znižali ceno na 0,5 €/kg. Po drugi strani bi dvig cene na 2 €/kg znižal prodajo proti 0. Iz danih podatkov izrazite odvisnost med ceno in povpraševanjem.

b) Življenjski ciklus proizvoda in obrata

Za bazne kemikalije (npr. klor, etilen oksid, natrijev karbonat ipd.) lahko napovemo bodočo porabo s precejšnjo zanesljivostjo, saj so trendi prodaje teh proizvodov dobro znani iz preteklosti in so tudi stabilni. Pri posebnih proizvodih so napovedi veliko težje. Takšni proizvodi izkazujejo karakterističen življenjski ciklus in življenjsko dobo (slika 3.2.).



Slika 3.2. Življenjski ciklus izdelka

Obdobje *A* predstavlja uvajanje in prodiranje izdelka na tržišče ter njegovo uveljavitev. Obdobje *B* je obdobje hitre rasti, ko so kupci sprejeli izdelek. Obdobje *C* je obdobje zrelosti, tržišče je nasičeno in rast povpraševanja je umirjena. V obdobju *D* povpraševanje upada zaradi zastarelosti in konkurenčnih proizvodov. Točka *T* predstavlja življenjsko dobo proizvoda.

Potek krivulje se seveda razlikuje za vsak izdelek, vendar lahko skupine izdelkov, npr. detergenti, herbicidi, izkazujejo določeno podobnost. Za nove proizvode je zelo težko napovedati obliko krivulje in zaradi te negotovosti mora biti izračunana vrednost izbranega ekonomskega kriterija za tak projekt dokaj visoka, če naj bo projekt uspešen.

Življenjski ciklus obrata je podoben življenjskemu ciklusu proizvoda, ali v določenih primeri celo sovpada z njim.

V splošnem se življenjska doba obrata razlikuje od življenjske dobe proizvoda in tudi od življenjske dobe procesnih enot v obratu. V kemijski industriji je povprečna življenjska doba opreme 11 let, medtem ko je življenjska doba obrata pogosto daljša, ker lahko pokvarjeno in zastarelo opremo tudi zamenjamo. V primeru, da je življenjska doba obrata krajša od življenjske dobe opreme, npr. zaradi upadanja povpraševanja, lahko ima obrat pri tem precejšnjo preostalo (rezidualno) vrednost.

Pri preliminarnem ocenjevanju v zgodnji fazi razvoja projekta uporabimo naslednja **enostavna pravila**:

1. Življenjsko dobo obrata ocenimo na 10 let, kar je enako povprečni življenjski dobi opreme.
2. Letno proizvodnjo predpostavimo konstantno in jo določimo glede na ocenjeno kapaciteto obrata. Ocenjevalci pogosto naredijo še analizo občutljivosti (sensitivity analysis), s katero ugotavljajo vpliv letne proizvodnje, ki je manjša od polne kapacitete obrata, na ekonomski kriterij.

3.4.2. Napoved cene izdelka

Kot smo videli, je cena izdelka tesno povezana z obsegom proizvodnje, vendar je eksaktno zvezo težko določiti. Za izdelke, ki so že na tržišču, je osnova za ekonomsko ocenjevanje aktualna tržna cena. Eden izmed dobrih virov aktualnih cen kemijskih izdelkov je tednik *Chemical Marketing Reporter*. Pri njegovi uporabi moramo upoštevati naslednja dejstva:

1. Za veliko produktov sta navedeni dve ceni, ki predstavljata razpon cen različnih proizvajalcev.
2. Navedene cene lahko vključujejo stroške prevoza, ali pa tudi ne. Npr. oznaka FOB (free on board) pove, da proizvajalec pokrije stroške prevoza do končne distribucijske točke na svojem ozemlju in stroške natovarjanja proizvoda v ustrezno prevozno sredstvo. Nekatere cene vključujejo tudi prevoz do kupca. Če ni ob ceni nobene oznake, se razume, da je cena FOB.
3. Cene so odvisne od vrste embalaže (razsuti tovor, plastični ali kovinski bobni, vreče ipd.), količine izdelka (npr. cisterna ali manj) in kvalitete izdelka (npr. čistoča). Pri izbiri cene je potrebno skrbno razčistiti vse te faktorje.

Cene kemijskih izdelkov v preteklih letih podaja npr. Chemical Economics Handbook (Stanford Research Institute). Kljub temu, da obstaja pregled nad gibanjem cen, pa le-te ne izkazujejo nekih specifičnih vzorcev, zato ekstrapolacije v prihodnost niso možne. Cene se namreč spreminjajo zaradi najrazličnejših vzrokov (npr. porast cene energentov, pojav konkurence, inflacija, zniževanje stroškov proizvodnje zaradi tehnoloških izboljšav itd.).

Proizvajalec se lahko tudi odloči, da bo na začetku prodajal svoj proizvod po nizki ceni z namenom, da osvoji tržišče. Po drugi strani je lahko začetna cena zelo visoka, če gre za edinstvene izdelke, ki nimajo konkurence. Strategija določanja cene ne spada v zgodnje faze razvoja projekta. Zato velja **pravilo**, da pri preliminarnem ocenjevanju za obstoječe izdelke uporabimo aktualne tržne cene. Če projekt pri teh cenah ne doseže sprejemljive vrednosti ekonomskega kriterija, tudi s še tako dobro cenovno strategijo verjetno ne bomo bistveno povečali uspešnosti projekta.

Določanje cene novega proizvoda je povezano s študijem vpliva cene na izbrani ekonomski kriterij. Pri tem ugotavljamo, pri katerih cenah proizvoda je projekt sprejemljiv in kje postane nesprejemljiv. Če so na tržišču podobni proizvodi, nam njihove cene omogočajo vsaj približno orientacijo, da bomo ceno postavili tako, da bo za kupca ekonomsko privlačna. Npr. kilogram novega herbicida za zatiranje plevela na pšeničnih poljih je lahko petkrat učinkovitejši od kilograma podobnega izdelka, vendar njegova cena ne more biti petkrat višja, ker kupec ne bo videl v nakupu novega herbicida nobene ekonomske koristi.

3.5. Razvoj procesne sheme

Po raziskavi tržišča napreduje razvoj projekta k definiranju postopka za pridobivanje želenega proizvoda. Ponavadi obstaja več poti za pridobivanje istega proizvoda, na odločitev pa vplivajo različni kriteriji - najpomembnejši je seveda ekonomski. Če izbira procesnih alternativ glede na ekonomski kriterij v začetku ni očitna, izvedemo ekonomsko analizo vzporedno za različne alternative vsaj v preliminarni fazi.

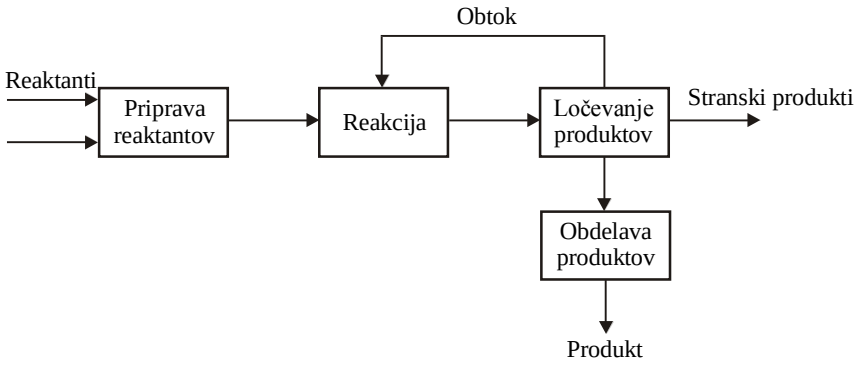
Če je mogoče, izberemo postopek, ki je enostaven ter vključuje standardne, dobro poznane procesne operacije, čeprav kompleksnejši postopek obeta prihranek. Pri preliminarnem ocenjevanju pogosto izberemo dražjo alternativo, da se izognemo kasnejšim neprijetnim presenečenjem, če bi se izkazalo, da je dražja alternativa neizogibna.

Glede stranskih produktov velja pravilo, da izberemo postopek, ki proizvede čim manj stranskih produktov, čeprav se zdi, da bi lahko bil tudi stranski produkt tržno zanimiv. Vendar pogosto ni tako.

Na izbiro procesa vplivajo še naslednji dejavniki: dostopnost surovin, znanje in dostopnost informacij o procesu, patentna zaščita postopkov, poraba energije, odpadki in vplivi na okolje, varnost procesa (nevarni so procesi, v katerih se pojavljajo nestabilni intermediati, npr. peroksidi, acetilidi, azo in nitrozo spojine, močno vnetljive tekočine, strupene snovi itd.).

3.5.1. Blok diagram procesa

Ko je postopek izbran, sledi prenos pisnih informacij v grafično obliko, t.j. diagram, ki predstavlja medsebojno povezavo procesnih operacij. Kemijski procesi se med seboj razlikujejo, vendar pa imajo tudi veliko skupnih značilnosti. Večino kemijskih procesov lahko posplošeno predstavimo s sliko 3.3:



Slika 3.3. Shematski prikaz kemijskega procesa

Središče procesa je reakcija ali fizikalna transformacija. Surovine (reaktanti) ponavadi zahtevajo določeno pripravo (npr. drobljenje, čiščenje, gretje, spremembo agregatnega stanja ipd.) preden vstopijo v reakcijski del. Reakcijske produkte ločimo v obtok, stranske produkte skupaj z odpadki in glavni produkt, ki ponavadi zahteva še končno obdelavo (npr. čiščenje, oblikovanje, pakiranje).

Najenostavnejši način za prikaz procesa je t.i. blok diagram, v katerem vsak pravokotnik predstavlja procesno operacijo, puščice med njimi predstavljajo procesne tokove. Začetne in končne puščice označujejo vtok reaktantov in iztok produktov. Ti tokovi spodbujajo inženirja k razmišljanju o vprašanjih: od kod dobimo surovine, ali bomo potrebovali skladišče za produkte, ali je odzračevanje dovoljeno, ali je treba predvideti še enoto za čiščenje izpuha ipd. Vsa ta vprašanja vplivajo na rezultate ekonomske analize, zato je treba pravočasno odgovoriti nanje.

Na področju sinteze procesov so razvili tudi sistematične pristope, ki omogočajo uporabo računalnikov pri razvoju procesne sheme. Kljub temu še vedno igrajo najpomembnejšo vlogo intuicija, inovativnost in inspiracija procesnih inženirjev.

Naloga 3.2. Raziščimo možnosti za pridobivanje etilamina z alkiliranjem amoniaka:

$$CH_3CH_2Cl + NH_3 \rightarrow CH_3CH_2NH_2 \cdot HCl$$

Izdelajmo blok diagram procesa, ki vključuje reakcijo med NH_3 in etilkloridom pri 42 bar in 225°C. NH_3 dodajamo reakcijski zmesi kot vodno raztopino H_2O-NH_3. V reaktorju zreagira 99 % etilklorida, od tega 60 % v primarni amin, 30 % v sekundarni amin in 9 % v terciarni amin. Reakcijske produkte ohladimo in hkrati nevtraliziramo HCl z aminov s 50 % raztopino NaOH. Nezreagirani amoniak odstranimo v koloni in vračamo na začetek procesa, amine pa odstranimo iz vodne raztopine NaCl z destilacijo (vrelišče primarnega amina je 17 °C, sekundarnega 56 °C in terciarnega 90 °C; azeotropa ne tvorijo).

3.5.2. Snovne in energijske bilance

S snovnimi in energijskimi bilancami kvantitativno definiramo procesni diagram, kar predstavlja osnovo za kasnejše dimenzioniranje procesne opreme. V zgodnji fazi razvoja projekta morajo biti definirane kemijske reakcije vključno s stranskimi reakcijami, ker je s tem

določena snovna bilanca reaktorskega sistema procesa. Snovne bilance preostalih delov procesa so odvisne od želenega ločevanja, ki pa je določeno z zahtevami po čistosti produktov.

Za izračunavanje snovnih in energijskih bilanc lahko uporabimo računalniške programe (simulatorje, npr. ASPEN, DesignII, HISYS, Flowtran), ki vsebujejo knjižnice matematičnih modelov za številne procesne operacije in obširne knjižnice s fizikalnimi in termodinamskimi podatki za številne kemijske spojine. Pogosto moramo sami pripraviti matematične modele za specifične operacije in jih povezati s preostalimi modeli v knjižnici računalniškega simulatorja.

S snovnimi in energijskimi bilancami dobimo za vsak procesni tok naslednje rezultate: množinske ali masne pretoke komponent, temperaturo, tlak, gostoto, prostorninski tok ipd. V projektnem poročilu podamo te rezultate v obliki tabele.

3.5.3. Procesna shema

Procesna shema (Process Flow Sheet) je razširitev blok diagrama in prikazuje osnovne povezave v procesu. Predstavlja osnovo za definiranje procesnih enot, ki so potrebne za izvedbo posameznih procesnih operacij, pogonskih sredstev in pomožnih obratov (npr. za pridobivanje pare). Procesna shema mora prikazovati vse potrebne procesne enote, ker je od tega odvisna zanesljivost ekonomske analize procesa. Nepopolna procesna shema vodi do najpogostejše napake ekonomske analize, t.j. do prenizke ocene investicije.

Posebej natančne so merno regulacijske sheme (P&ID, kar pomeni Piping and Instrumentation Diagrams), ki prikazujejo zraven procesnih enot še celoten sistem ocevja z ventili, regulacijskimi elementi, alarmi, varnostnimi ventili, oddušniki, računalniškimi povezavami itd.

Za označevanje procesnih enot na procesnih shemah uporabljajo v državah po svetu bolj ali manj podobne simbole. Celo različne industrijske panoge so razvile svojstvene sezname simbolov. Zaradi potrebe po poenotenju simbolov in oznak za procesne enote so razvili standard ISO 10628, ki natančno predpisuje simbole, oznake ter pravila za risanje procesnih shem. Ko bo standard popolnoma uveljavljen, simboli na procesnih shemah ne bodo več odvisni od podjetja oz. države, v kateri so nastali, zato bo ″branje″ takšnih shem veliko enostavnejše.

4. Dimenzioniranje in določanje cen procesnih enot

Določitev potrebnih investicijskih sredstev za izvedbo projekta temelji na določitvi velikosti (dimenzioniranju), kapacitete in cene procesne opreme. Pri preliminarnem ocenjevanju nimamo dovolj podatkov za natančno dimenzioniranje procesnih enot, prav tako največkrat ni izvedljivo, da bi v kratkem času dobili predračune od prodajalcev opreme, zato uporabimo enostavne (t.i. short cut) metode in številna izkustvena pravila. Takšno ocenjevanje je seveda ocenjevanje velikostnega reda investicije, a številni ugledni avtorji (npr. Douglas, 1988) poudarjajo, da je zanesljivost zadostna za primerjavo med različnimi alternativami v zgodnjih fazah razvoja projekta.

Ko smo pripravili procesno shemo ter izračunali snovne in energijske bilance, se lahko lotimo ocenjevanja cen procesnih enot s katero od znanih metod (korelacij), pri tem pa moramo za vsako enoto definirati naslednje podatke:

1. ***Vrsta procesne enote***. Procesne enote za izvajanje neke procesne operacije so lahko različnih izvedb, npr. toplotni prenosnik je lahko cevni (shell and tube), lahko ima cevi v obliki črke U (U tube), prenosnik s pomičnim pokrovom (floating head), vrelni kotel (kettle reboiler), grelna spirala (coil) itd.
2. ***Velikostni kriterij*** predstavlja eno ali več števil, ki določajo velikost ali kapaciteto procesne enote in jih imenujemo velikostni ali načrtovalski parametri (size variables, design variables); za toplotni prenosnik je to zunanja površina cevi, pri kolonah sta to premer in višina kolone, ki je določena s številom prekatov. S tem pristopom se pri preliminarnem ocenjevanju izognemo velikemu številu podrobnosti, kot je npr. pri toplotnem prenosniku dolžina cevi, premer ohišja, število prehodov skozi cevi, oblika ovir itd.
3. ***Ekstremni obratovalni pogoji***. Korelacije za ocenjevanje cen procesnih enot pogosto vključujejo tudi vpliv visokega tlaka na ceno glede na ceno enote, ki je izvedena za obratovanje pri nizkem tlaku.
4. ***Material***, iz katerega bo procesna enota, pomembno vpliva na ceno, zato mora biti definiran že pri preliminarnem ocenjevanju.

Poenostavljene hitre metode temeljijo na uporabi različnih izkustvenih pravil za ocenjevanje zgoraj naštetih karakteristik, predvsem velikostnega kriterija. Natančno dimenzioniranje je zahtevno in ga obravnavamo za posamezne procesne operacije pri različnih predmetih (npr. prenos toplote, prenos snovi, termodifuzijska tehnika, reakcijska tehnika, termodinamika ipd.) Zato bomo v naslednjih poglavjih prikazali le enostavne metode za hitro dimenzioniranje posod, toplotnih prenosnikov, peči, kolon, kompresorjev in črpalk. Ob tem omenimo še to, da lahko nekatere velikostne parametre dobimo z uporabo procesnih simulatorjev, kar precej olajša delo.

4.1. Metode za hitro dimenzioniranje procesnih enot

Metode za dimenzioniranje procesnih enot zahtevajo podatke o pretoku, temperaturi, tlaku in toplotnem toku, ki jih dobimo iz snovnih in energijskih bilanc. Izračunane vrednosti nato uporabimo pri določanju cene procesne enote, s katerim se bomo srečali v naslednjem poglavju. Uvedli bomo koncept faktorjev tlaka in materiala, ki jih uporabimo za preračun cene, kadar izvedba procesne enote in pogoji obratovanja odstopajo od osnovne konfiguracije. Ta pristop je razvil Guthrie (Capital cost estimating. *Chemical Engineering* **76**, 114, 1969) in se je izjemno uveljavil v kemijskem inženirstvu.

4.1.1. Posode

S posodami označujemo razpenjalnike, hranilnike, usedalnike in nekatere reaktorje. Pri njihovem dimenzioniranju uporabimo naslednje kriterije:

a) Volumen (V) določimo na osnovi 5 minutnega zadrževalnega časa in dodamo še enkrat tolikšen volumen za hlape:

$$V = 2\left[\frac{q_m\,\tau}{\rho}\right] \tag{4.1}$$

kjer je:

V volumen (m^3),
q_m masni pretok tekočine (kg/s),
τ zadrževalni čas (s), običajno 5 min = 300 s,
ρ gostota tekočine (kg/m^3).

b) Uporabimo še naslednja pravila:
- Razmerje med višino in premerom posode naj bo štiri: $H / D = 4$.
- Če je premer večji od 1,2 m dimenzioniramo enoto kot horizontalno posodo. To zahteva sicer več prostora, vendar pa je nosilna konstrukcija cenejša.
- Zaradi varnosti vzamemo nadtlak v posodi za 50 % višji od tistega, ki smo ga izračunali s snovnimi in energijskimi bilancami. S povečanim tlakom nato izberemo ustrezen faktor tlaka pri ocenjevanju cene.

4.1.2. Toplotni prenosniki

Osnovna enačba za dimenzioniranje toplotnih prenosnikov je naslednja:

$$A = \frac{\phi}{U\,\Delta T_{\ln}} \tag{4.2}$$

kjer je:

A ploščina za prenos toplote (m^2),
ϕ toplotni tok (J/s = W),
U koeficient toplotnega prehoda ($W/(m^2{\cdot}K)$),
$\Delta T_{\ln}$ srednja logaritemska temperaturna razlika (K).

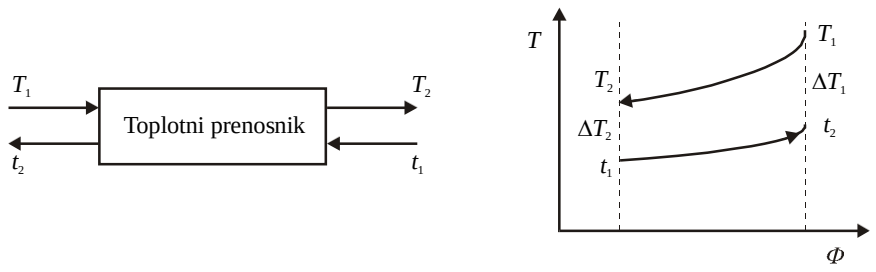
A je ploščina zunanje površine cevi, ki je v stiku s fluidom med cevmi.

U je koeficient toplotnega prehoda, ki ga dobimo iz tabel ali grafov v priročnikih (npr. Perry) in je odvisen od vrste in agregatnega stanja fluidov, ki izmenjujeta toploto. Zraven tega zajema še kondukcijo toplote skozi stene in upor, ki ga predstavljajo obloge v prenosniku. Tipične vrednosti tega koeficienta so npr.:
- za kondenzacijo hlapnih ogljikovodikov z vodo od 450 do 1150 $W/(m^2{\cdot}K)$, če ogljikovodiki vsebujejo veliko količino nekondenzirajočih plinov, zmanjšamo to vrednost na 10 $W/(m^2{\cdot}K)$.
- za toplotni prenos med organskimi topili in vodo je U med 280 in 850 $W/(m^2{\cdot}K)$.
- nekatere tekočine v stekleni posodi imajo U okrog 170 $W/(m^2{\cdot}K)$.

Srednjo logaritemsko temperaturno razliko $\Delta T_{\ln}$ izračunamo za enostavni protitočni cevni toplotni prenosnik (slika 4.1.) z izrazom:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\dfrac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \tag{4.3}$$

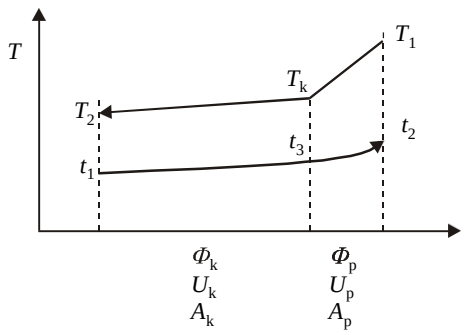
kjer je: $\Delta T_1 = T_1 - t_2$ in $\Delta T_2 = T_2 - t_1$



Slika 4.1. Temperature v toplotnem prenosniku

Tudi pri toplotnem prenosniku uporabimo pri določitvi cene za 50 % višji tlak od tistega, ki smo ga dobili s snovnimi in energijskimi bilancami.

Kadar v toplotnem prenosniku eden ali oba toka spremenita agregatno stanje, razdelimo toplotni prenosnik na zaporedne enote, kot prikazuje slika 4.2., ocenimo U za parni in kondenzirajoči del ter obe ploščini:



Slika 4.2. Dimenzioniranje toplotnega prenosnika s spremembo agregatnega stanja

$$A_p = \frac{\phi_p}{U_p\left[(T_1 - t_2) - (T_k - t_3)\right] / \ln\left[(T_1 - t_2)/(T_k - t_3)\right]}$$

$$A_k = \frac{\phi_k}{U_k\left[(T_k - t_3) - (T_2 - t_1)\right] / \ln\left[(T_k - t_3)/(T_2 - t_1)\right]} \tag{4.4}$$

in

$$A = A_p + A_k$$

1000 m^2 naj bi bila maksimalna ploščina za izmenjavo v enem prenosniku. Če je potrebna večja površina, uporabimo več vzporednih toplotnih prenosnikov. Osnovna konfiguracija za ocenjevanje cene po Guthrieju je toplotni prenosnik s pomičnim pokrovom iz ogljikovega jekla s tlakom do 10 bar.

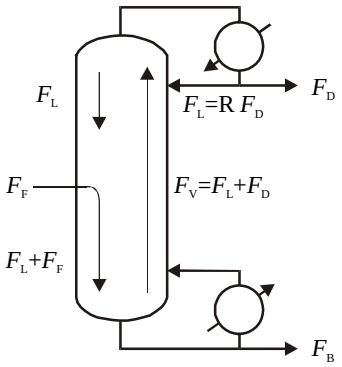
Opisana metoda zadošča za preliminarno ocenjevanje, kljub temu pa se je treba zavedati, da je natančno načrtovanje toplotnih prenosnikov veliko bolj zapleteno.

4.1.3. Peči in plamenski grelniki

Pri preliminarnem ocenjevanju ne določamo velikosti peči in plamenskih grelnikov, ampak določimo njihovo ceno na osnovi izračunanega toplotnega toka.

4.1.4. Kolone

Pri določanju cene destilacijskih, absorbcijskih in drugih kolon (npr. pralnikov plina – scrubbers, izganjalnikov plina – strippers) moramo poznati višino, premer in število prekatov. Metod za izračun teh parametrov je veliko in se imenujejo po svojih avtorjih: npr. McCabe-Thiele, Gilliland-Fenske-Underwood, Westerberg in druge. Prikazali bomo poenostavljen pristop, ki je primeren za preliminarno ocenjevanje. Slika 4.3. prikazuje označevanje pretokov pri vreli napajalni raztopini: F_F je množinski pretok napajalne raztopine, F_D pretok destilata in F_B pretok destilacijskega ostanka .



Slika 4.3. Destilacijska kolona z vtokom pri temperaturi vrelišča

a) Izračun relativne hlapnosti

Za idealno binarno zmes je relativna hlapnost (α) enaka razmerju parnih tlakov lahko hlapne (P_1^0) in težko hlapne komponente (P_2^0) pri določeni temperaturi:

$$\alpha = \frac{P_1^0}{P_2^0} \tag{4.5}$$

Ker se temperatura v destilacijski koloni spreminja, se spreminja tudi relativna hlapnost. Pri preliminarnem ocenjevanju ponavadi predpostavimo, da je relativna hlapnost konstantna za celotno kolono. Ta predpostavka je primerna, ko se temperaturi vrelnika in kondenzatorja ne razlikujeta veliko. Relativno hlapnost izračunamo kot povprečno vrednost med relativno hlapnostjo pri temperaturi destilata in relativno hlapnostjo pri temperaturi vrelnika. Še enostavnejši način je, da vzamemo kar relativno hlapnost pri temperaturi napajalne raztopine.

b) Izračun števila prekatov

Minimalno število prekatov ocenimo s Fenske-jevo enačbo:

$$N_{\min} = \frac{\ln\left[\dfrac{x_{1,\mathrm{D}}}{1-x_{1,\mathrm{D}}} \cdot \dfrac{1-x_{1,\mathrm{B}}}{x_{1,\mathrm{B}}}\right]}{\ln \alpha} \tag{4.6}$$

kjer se podpis 1 nanaša na lažje hlapno komponento. Teoretično število prekatov ocenimo z naslednjo izkustveno zvezo:

$$N_t \approx 2\, N_{\min} \tag{4.7}$$

Dejansko število prekatov izračunamo:

$$N = \frac{N_t}{\eta} \tag{4.8}$$

kjer je η izkoristek (običajno okrog 0,4 ali 0,5).

c) Izračun obtočnega razmerja

Obtočno lahko razmerje izračunamo z Underwoodovo enačbo za tekoč vrel vtok:

$$R_{\min} = \left(\frac{1}{\alpha - 1}\right)\left[\frac{x_{1,\mathrm{D}}}{x_{1,\mathrm{F}}} - \alpha\frac{(1 - x_{1,\mathrm{D}})}{(1 - x_{1,\mathrm{F}})}\right] \tag{4.9}$$

Za dejansko obtočno razmerje velja izkustveno pravilo:

$$R = 1{,}3\, R_{\min} \tag{4.10}$$

d) Izračun višine kolone

Višino kolone izračunamo na osnovi števila prekatov, ki so med seboj oddaljeni 60 cm. Temu dodamo še okrog 5 m za poseben prostor na vrhu in dnu kolone ter pri vtoku napajalne raztopine.

$$H = 0{,}6\,\mathrm{m}\,(N - 1) + 5\,\mathrm{m} \tag{4.11}$$

e) Izračun premera kolone.

Ploščino krožnega preseka kolone izračunamo tako, da volumski tok pare v koloni delimo s hitrostjo pare, ki jo ocenimo na 0,6 m/s:

$$A = \frac{q_v}{v} \tag{4.12}$$

A ploščina krožnega preseka kolone (m^2),
q_v volumski pretok pare (m^3/s),
v hitrost pare (m/s).

Volumski pretok pare izračunamo iz množinskega pretoka:

$$q_v = \frac{F_\mathrm{V} M_\mathrm{V}}{\rho_\mathrm{V}} \tag{4.13}$$

q_v volumski pretok pare (m^3/s),
F_V množinski pretok pare (mol/s),
M_V molska masa pare (g/mol),
ρ_V gostota pare (g/m^3).

Množinski pretok pare v koloni izračunamo (slika 4.3.):

$$\begin{aligned} F_\mathrm{V} &= F_\mathrm{L} + F_\mathrm{D} \\ &= R\,F_\mathrm{D} + F_\mathrm{D} = (1 + R)\,F_\mathrm{D} \end{aligned} \tag{4.14}$$

gostoto pa z uporabo plinske enačbe za idealne pline:

$$\rho_V = \frac{p\,M_V}{RT} \tag{4.15}$$

ρ_V gostota pare (g/m^3),
p tlak v koloni (Pa),
M_V molska masa pare (g/mol),
R 8,314 J/(mol·K),
T temperatura (K) (vzamemo najvišjo temperaturo v koloni, t.j. temperatura v vrelniku, ker je tam hitrost pare največja).

Ko izračunamo A, dobimo premer kolone iz znane zveze:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

oz. $$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \tag{4.16}$$

Ko poznamo višino in premer kolone, lahko ocenimo njeno ceno po Guthrieju. Osnovna izvedba kolone pri Guthrieju iz ogljikovega jekla, razdalja med prekati je 60 cm, prekati pa imajo obliko sit ali mreže.

Naloga 4.1. Izračunajte višino in premer destilacijske kolone za ločevanje pikolina in vode. Podatki so naslednji:

	vtok (mol/s)	destilat (mol/s)	dest. ostanek (mol/s)	vrelišče (°C)	mol. masa (g/mol)	parni tlak pri 120°C (bar)
1. voda	6,3	6,0	0,25	100	18	1,976
2. pikolin	25,2	1,5	23,7	143	93,13	0,227

Naloga 4.2. Ocenite ploščino kondenzatorja destilacijske kolone iz primera 4.1. Izparilna toplota vode je 40,7 kJ/mol in pikolina 39,3 kJ/mol. Vtočna temperatura hladilne vode naj bo 20 °C in iztočna 32 °C.

4.1.5. Črpalke

Za črpanje tekočin definiramo teoretično delo kot $V\Delta p$, ker ostane volumen pri porastu tlaka praktično nespremenjen. Za izračun dejansko potrebnega dela upoštevamo še izkoristek črpalke in motorja ($\eta \approx 0{,}45$):

$$w = \frac{q_v\,\Delta p}{\eta} = \frac{q_v\,(p_2 - p_1)}{\eta} \tag{4.17}$$

w delo (W),
p_1 začetni tlak (Pa),
p_2 končni tlak (Pa),
q_v volumski pretok (m^3/s), ki ga izračunamo kot FM/ρ podobno kot v enačbi (4.13),

Tudi mešalni sistemi, ki jih poganjajo elektromotorji, so določeni z močjo elektromotorja. Pri dimenzioniranju takšnih sistemov lahko uporabimo naslednja izkustvena pravila:

za mešanje potrebujemo 1 kW /5100 l tekočine.
za reakcije s hladilnim plaščem 1 kW /1300 l tekočine.
za večfazne reakcije 1 kW /260 l tekočine.

V zvezi s črpalkami pogosto srečamo v literaturi zastarelo mersko enoto za moč HP (horsepower, konjska moč), za katero velja, da je 1 HP = 745 W.

Osnovni tip črpalke v Guthriejevi metodi je iz litega železa, temperatura obratovanja ne presega 120°C, največja razlika tlakov je 10 bar, vključen je elektromotor, vsi spoji in podlaga.

4.1.6. Kompresorji

Za adiabatni kompresor izračunamo idealno delo z naslednjo enačbo:

$$w_{\mathrm{i}} = Fc_p\Delta T = \frac{F\,R\gamma\,T_1}{(\gamma-1)}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] \tag{4.18}$$

kjer je:
w delo (W),
F množinski pretok (mol/s),
R 8,314 J/(mol·K),
γ razmerje toplotnih kapacitet, $\gamma = c_p/c_v$, (γ = 1,4 za idealne pline),
T_1 temperatura vtoka (K),
p_1 tlak na vtoku (Pa),
p_2 tlak na iztoku (Pa).

Dejanska moč kompresorja (angleško brake horsepower) je potem:

$$w = \frac{w_{\mathrm{i}}}{\eta}$$

kjer je η izkoristek (≈ 0,7).

Največja moč kompresorja je omejena na 7,5 MW. Osnovni tip kompresorja v Guthriejevi metodi je centrifugalni kompresor s tlakom do 70 bar.

4.2. Določitev cene procesne opreme

Da bi lahko določili vrednost investicije, moramo najprej določiti nakupne cene procesnih enot (purchased cost), ki smo jih vključili v procesno shemo.

Večina cenovnih korelacij v literaturi podaja ***nakupno ceno*** opreme kot FOB ceno, kar pomeni ceno zapakirane opreme, ki je na zemljišču dobavitelja pripravljena za prevoz do kupca. Slednji je tudi plačnik prevoza od dobavitelja do svoje lokacije.

Nekateri viri v literaturi ne podajajo nakupnih cen ampak ***ceno dobavljene opreme*** (delivered cost), ki vključuje vse davke, stroške prevoza in zavarovanje prevoza. Če je na voljo samo FOB cena, ocenimo ceno dobavljene opreme tako, da nakupni ceni dodamo 10 %:

cena dobavljene opreme = 1,10 · nakupna cena

V literaturi pogosto ni jasno razvidno, ali podane cene predstavljajo **cene montirane opreme** (installed cost) ali **cene nemontirane opreme** (base cost). Montirana oprema je postavljena na svoje mesto na lokaciji obrata in je pripravljena za povezavo z ocevjem in instrumenti. Stroški montaže predstavljajo precejšen delež nakupne cene, zato mora biti jasno definirano, ali gre za ceno montirane ali nemontirane procesne enote.

4.2.1. Eksponentne zveze ("pravilo šestih desetin")

Pogosto so podatki za cene podani v obliki enačb z naslednjo obliko:

$$c = a\,S^n \tag{4.19}$$

kjer je a konstanta
S velikostni kriterij
n eksponent (scale-up, capacity exponent, size exponent)

Če narišemo diagram cene procesne enote v odvisnosti od velikostnega kriterija v koordinatni sistem z logaritemsko skalo na abscisi in ordinati, izkazuje večina podatkov linearno odvisnost, pri čemer so ugotovili, da je povprečni naklon premice okrog 0,6. Tako je povprečna vrednost eksponenta n v enačbi (4.19) enaka 0,6. Ta zveza je znana pod imenom "six-tenth factor rule", kar bi morda lahko prevedli kot "pravilo šestih desetin".

Razlog za takšno odvisnost lahko razložimo z naslednjim primerom:
Vzemimo tlačno posodo z obliko krogle. Kapaciteta posode je določena s prostornino (V), njena cena pa z maso kovine (m_k), iz katere je narejena in je sorazmerna površini posode:

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 \qquad \text{in} \qquad m_k = \rho_k d \left(\pi D^2\right) \tag{4.20}$$

kjer je D premer posode, d je debelina stene, ρ_k je gostota kovine. Če iz prve enačbe izrazimo premer in ga vstavimo v drugo enačbo, dobimo:

$$m_k = \rho_k\, d\, \pi^{1/3} (6\,V)^{2/3} \tag{4.21}$$

kar kaže, da je: $c \propto m_k = k V^{2/3}$

Poudariti velja, da je 0,6 povprečna vrednost za eksponent. Dejansko so lahko vrednosti eksponentov od 0,2 do 1 za različne tipe procesnih enot in so tabelirane v literaturi (npr. Perry). Zato uporabimo vrednost 0,6 samo, ko nimamo zadostnih podatkov.

4.2.2. Cene procesnih enot z različnimi velikostmi oz. kapacitetami (scale-up, scaling)

Zveza (4.19) je zelo koristna v primerih, ko moramo hitro oceniti ceno procesne enote s takšno velikostjo ali kapaciteto, za katero ni na voljo podatkov. Vzemimo, da poznamo ceno enote A, ki ima velikostni kriterij S_A; ceno podobne naprave z velikostnim kriterijem S_B izračunamo z uporabo omenjenega pravila:

$$\frac{c_B}{c_A} = \left(\frac{S_B}{S_A}\right)^{0,6} \tag{4.22}$$

Opisani pristop je treba uporabljati s previdnostjo; uporaba naj bi bila omejena na kapacitete, katerih razmerja niso večja od 10. Zraven tega morata biti obe napravi zelo podobni glede

konstrukcije, materiala, obratovalne temperature in tlaka. Tako npr. lahko ekstrapoliramo ceno toplotnega prenosnika s ploščino 10 m^2 na ploščino 50 m^2, saj spadata oba v skupino srednje velikih prenosnikov, kjer je razmerje med količino potrebnega materiala in vloženim delom približno enako za različne velikosti. Prenosnik s ploščino, ki je manjša od 1 m^2, spada med majhne prenosnike, pri katerih je potrebno veliko vloženega dela, zato so relativno dragi.

Vrednost eksponenta v enačbi (4.22) je za različne procesne enote različna. Podatke o eksponentih in referenčnih cenah za določene procesne enote najdemo npr. v priročniku Perry, str. 9-69 (Priloga 1), v različnih učbenikih (Priloga 2) in člankih (Priloga 3).

Naloga 4.3. Cena vakuumske črpalke s kapaciteto 24 l/s je 1880 €. Želimo izračunati ceno črpalke s kapaciteto 72 l/s. Kakšno napako bi naredili, če bi namesto eksponenta, ki ga najdemo v literaturi (0,47), uporabili pravilo šestih desetin?

4.2.3. Logaritemski diagrami

Korelacije za nakupne cene procesne opreme so v nekaterih virih prikazane na logaritemskih diagramih: cena v odvisnosti od velikostnega kriterija. Na log-log diagramih izkazuje večina podatkov linearno odvisnost. Pri uporabi moramo biti pozorni na naslednje:

1. Kaj je vključeno v ceno. Npr. cena črpalke največkrat zajema tudi elektromotor, včasih pa tudi ne, zato je treba legendo ob sliki pazljivo prebrati.
2. Kateri je velikostni kriterij. Npr. pri črpalkah je to volumski pretok tekočine, pri nekaterih črpalkah pa tudi pogonska moč. Ker večina teh korelacij izvira iz anglosaškega prostora, merske enote velikostnih kriterijev ne ustrezajo SI sistemu, zato jih je treba pazljivo pretvarjati.
3. Cena je ponavadi definirana kot nakupna cena (FOB). Podano je tudi leto, ki je časovno izhodišče za posamezno korelacijo.

Cene, ki jih določimo z uporabo teh diagramov, veljajo za določeno izvedbo procesne enote, za določen material in tlak, kar imenujemo *osnovna konfiguracija*, ceno te osnovne konfiguracije pa *osnovna cena* (base cost). Če osnovno ceno ***pomnožimo*** s posebnimi faktorji (adjustment factors), lahko določimo ceno za enako procesno enoto, ki pa je drugačne izvedbe od osnovne ali je iz drugega materiala ali obratuje pri višjem tlaku. Ti faktorji so naslednji:

1. faktor materiala (F_m), tabela 4.1,
2. faktor tlaka (F_p),
3. faktor temperature (F_T).
4. faktor izvedbe (F_d),

Tabela 4.1. Faktorji za raznovrstne materiale

Material	Faktor
Jeklo (< 0,15 % C)	1,00
Aluminij in bron	1,07
Lito jeklo (Cast steel)	1,10
Nerjavno jeklo (jeklo s Cr)	1,30
Najkvalitetnejša nerjavna jekla	1,50
Hastelloy C (Ni zlitina s Cr in Mo)	1,55
Monel (zlitina Ni in Cu)	1,65
Nikelj in inconel (Ni zlitina s Cr in Fe)	1,70
Titan	2,00

Faktorji za različne materiale, predstavljeni v tabeli 4.1, veljajo za ocenjevanje investicije celotnih procesnih shem, medtem ko imajo cenovne korelacije za posamezne procesne enote pogosto definirane svoje specifične korekcijske faktorje za material. Pri nekaterih procesnih enotah srečamo še druge faktorje, npr. pri izračunu cene polnil v koloni nastopa faktor F_s, ki se

nanaša na razdaljo med prekati. Pri hkratni uporabi različnih faktorjev upoštevamo navodilo za izračun skupnega korekcijskega faktorja, ki je zapisano ob diagramu in nato osnovno ceno množimo s skupnim faktorjem.

Diagrami za izračun nakupnih cen nekaterih najpogosteje uporabljanih procesnih enot so zbrani v Prilogi 4.

Naloga 4.4. Izračunajte ceno destilacijske kolone za ločevanje vode in pikolina iz naloge 4.1. Kolona naj bo iz nerjavnega jekla s prekati v obliki sit.

Izračunajte ceno kondenzatorja te kolone (naloga 4.2.) iz nerjavnega jekla in s pomičnim pokrovom.

4.2.4. Preračunavanje cen iz enega časovnega obdobja v drugo (cenovni indeksi)

Večina dostopnih podatkov o cenah procesnih enot je dobljena v nekem določenem letu v preteklosti. Inflacija in drugi ekonomski faktorji pa povzročajo spreminjanje (običajno naraščanje) cen s časom. Ker imajo različni viri cen procesne opreme različna časovna izhodišča, potrebujemo pristop, s katerim bi vse cene preračunali na skupno osnovo, ki je običajno sedanjost, lahko pa je tudi izbrano leto v prihodnosti. To omogoča koncept cenovnih indeksov (cost indices).

Če je znana cena v določenem preteklem letu, lahko izračunamo ekvivalentno ceno za katerokoli drugo leto. Razmerje cen je namreč enako razmerju ustreznih cenovnih indeksov. Označimo izhodiščno leto z a in ustrezno (znano) ceno za to leto s c_a. Leto, na katero želimo preračunati originalno ceno, označimo z b in pripadajočo (neznano) ceno, ki jo želimo izračunati, s c_b. Pripadajoči vrednosti indeksov naj bosta I_a in I_b. Ceni v obeh letih sta potem v enakem razmerju kot cenovna indeksa:

$$\frac{c_b}{c_a} = \frac{I_b}{I_a} \tag{4.23}$$

kjer sta c_a in c_b ceni opreme. Če poznamo ceno za leto a, lahko torej z enačbo (4.23) izračunamo ceno v letu b.

Cenovni indeksi so dobljeni s statističnim spremljanjem cen, vendar pa noben indeks ne more zajeti čisto vseh dejavnikov, kot npr. tehnološki razvoj posameznih panog gospodarstva. Z uporabo cenovnih indeksov dobimo zadovoljive rezultate za obdobja, ki so krajša od 10 let.

V literaturi redno objavljajo vrednosti različnih indeksov. Nekatere lahko uporabimo za ocenjevanje cen procesne opreme, druge za ceno dela, gradnje, materialov in drugih postavk. Vsak indeks ima dogovorjeno izhodiščno leto, ko je njegova vrednost enaka 100. Ker se izbrana izhodiščna leta indeksov razlikujejo, imajo indeksi za neko določeno leto različne vrednosti, čeprav opisujejo isti trend spreminjanja cen.

Za industrijsko opremo najpogosteje uporabljamo ***Marshall in Swiftov indeks (M&S)***, ki ne odraža samo inflacijskih pritiskov na cene, ampak tudi vpliv tehnoloških izboljšav.

Objavljeni sta dve varianti indeksa: prva je skupni M&S indeks za industrijsko opremo, ki je povprečna vrednost individualnih indeksov za 47 različnih panog. Drugi M&S indeks velja za opremo procesne industrije in predstavlja povprečno vrednost osmih panog od zgoraj omenjenih 47. Te so: industrija cementa (prispevek k vrednosti indeksa je 2 %), stekla (3 %), barv (5 %), proizvodnja kemikalij (48 %), glinenih izdelkov (2 %) ter naftna (22 %), gumarska (8 %) in papirna (10 %) industrija.

Osnova za M&S indeks je leto 1926, takratna vrednost indeksa je 100 (tabela 4.2). Podatki o cenah procesne opreme, ki jih navaja Guthrie, so iz leta 1968 in takratna vrednost indeksa je bila 273. Sedanje vrednosti objavlja revija **Chemical Engineering na strani "Economics Indicators"**.

Obstajajo še drugi indeksi, npr. Chemical Engineering (CE) Plant Cost Index, ki ga mesečno objavlja založba McGraw Hill, Engineering News Record (ENR) Construction Index, Nelson-Ferrar Refinery Construction Index itd.

Uporaba cenovnih indeksov je sprejemljiva, če podatki niso starejši od 10 let. Pri podatkih, ki so stari med 10 in 20 let, je potrebna previdnost. Podatki, ki so starejši od 30 let, veljajo za zastarele. Za preliminarno ocenjevanje pa so sprejemljive projekcije tudi preko 30 let.

Tabela 4.2. Nekaj vrednosti M&S in CE cenovnih indeksov

Leto	M&S (1926=100)	CE (1957-1959=100)
1980	659,6	261,2
1985	789,6	325,3
1990	915,1	357,6
1995	1027,5	381,1
1998	1069,9	389,5
1999	1068,3	390,6
2000	1089,0	394,1
2001	1093,9	394,3
2002	1104,2	395,6
2003	1123,6	402,0
2004	1178,5	444,2
2005	1244,5	468,2
2006	1302,3	499,6
2007	1373,3	525,4
2008	1449,3	575,4
2009	1468,6	521,9
2010	1457,4	550,8

Naloga 4.5. Pretvorimo ceni destilacijske kolone in njenega kondenzatorja (naloga 4.4.) na ceni v letu 2008.

Naloga 4.6. Izračunajmo ceno centrifugalnega kompresorja z elektromotorjem, ki stiska 10 mol/s plina pri 298 K s 100 kPa na 1500 kPa z izkoristkom 72 %.

Naloga 4.7. Večino toplote v eksotermnem procesu pri 16 bar bomo odvajali z zračnimi hladilniki zaradi omejenih zalog vode. Izračunali smo, da potrebujemo 13 935 m^2 prenosne ploščine. Uporabili bomo nerjavne cevi z dolžino 5 m. Ocenimo ceno takšnega zračnega hladilnika z uporabo Priloge 5.

Naloga 4.8. Ocenimo nakupno ceno prenosnika ″Shell & Tube, Floating Head″ s ploščino 185,5 m^2 za leto 2008 z metodo a) v prilogi 1, b) v prilogi 4c.

---

5. Ocena investicije v osnovna sredstva

Prvi od ciljev ekonomske analize projekta je ocena investicije, ki je potrebna za izvedbo projekta v praksi. Osnova za to je določitev osnovne (nakupne) cene procesne opreme, s čemer smo se ukvarjali v 4. poglavju. V tem poglavju se bomo spoznali z različnimi metodami za oceno investicije, ki temeljijo na uporabi t.i. faktorjev, s katerimi ocenimo vrednost različnih postavk tako, da osnovno (nakupno) ceno opreme pomnožimo z ustreznimi faktorji.

Sredstva, ki jih investiramo v proizvodne zmogljivosti, se delijo na osnovna in obratna sredstva (izraz sredstva pogosto uporabljamo tako za investiran denar kot tudi za dobrine, ki so rezultat investiranja denarja):

1. **Osnovna sredstva** so definirana kot kapital, ki ga investiramo v opremo in drugo nepremično premoženje, t.j. tisto premoženje, ki ni prenosno, začasno in se ne porablja. Značilnost osnovnih sredstev je, da imajo omejeno življenjsko dobo; po določenem obdobju se izrabijo, postanejo zastarela in jih je potrebno zamenjati, če želimo nadaljevati s proizvodnjo. Primeri postavk, ki jih uvrščamo med osnovna sredstva, so:

   procesna oprema,
   skladišča,
   železniški tir,
   kanalizacija,
   laboratorijske zgradbe…

   Omeniti velja, da zemljišča oz. sredstev za nakup zemljišča ne uvrščamo med osnovna sredstva, kajti zemljišče se ne obrabi in nam v primeru prodaje povrne vložena sredstva.
2. **Obratna sredstva** predstavljajo denar, ki ga investiramo v premične in začasne stvari ali v stvari, ki se porabljajo. Značilnost obratnih sredstev je, da se denar, ki smo ga investirali v njih, povrne (vsaj v principu). Primeri obratnih sredstev so:

   surovine v skladišču,
   rezervni deli,
   laboratorijske kemikalije itd.

V tem poglavju se bomo posvetili prvim, t.j. osnovnim sredstvom. Obratna sredstva bomo obravnavali v 8. poglavju.

5.1. Faktorska metoda

Osnova za določitev investicije s faktorsko metodo je skupna nakupna cena (c_n) procesnih enot, ki sestavljajo procesno shemo. Zato naredimo seznam procesnih enot, v katerem za vsako posamezno procesno enoto prikažemo značilno velikostno spremenljivko, material, iz katerega bo izdelana, morebitne posebnosti (visok tlak...) in njeno nakupno ceno. Vsota nakupnih cen posameznih procesnih enot je skupna nakupna cena opreme. Ta cena pa še zdaleč ne predstavlja celotne investicije, ki je potrebna za postavitev obrata. Izkušnje kažejo, da predstavlja nakupna cena opreme komaj petino ali tretjino celotne investicije! Dodati ji je potrebno še vrsto dodatkov za različne aktivnosti, ki so nujne, da skupino dobavljenih procesnih enot pretvorimo v delujoči obrat. Te dodatke dobimo tako, da skupno nakupno ceno opreme pomnožimo z ustrezno vrednostjo statistično določenih faktorjev.

Posamezne kategorije, ki jih prištejemo k skupni nakupni ceni opreme, bomo opisali hkrati z opisom faktorske metode, pri čemer bomo investicijo v osnovna sredstva razdelili v neposredna (materialna) osnovna sredstva in posredna (nematerialna) osnovna sredstva.

5.1.1. Neposredna osnovna sredstva

Velikost investicije v neposredna (ali fizična) osnovna sredstva (I_{NOS}) določa <u>skupna</u> nakupna cena procesne opreme (c_n) in zraven nje še osem različnih postavk, ki jih bomo opisali v nadaljevanju in so določene s faktorji F_i, s katerimi pomnožimo skupno nakupno ceno:

$$I_{NOS} = c_n\left(1 + F_1 + F_2 + \ldots + F_8\right) \tag{5.1}$$

a) Montaža

Pri metodi nakupnih cen se montirana procesna enota razume kot enota, ki je postavljena na ustrezno mesto v obratu in je pripravljena za povezavo z drugimi enotami preko ocevja, regulacijskih zank, dobavnega sistema pogonskih sredstev itd. Če npr. tovornjak pripelje zapakirano črpalko v podjetje, bo montaža te črpalke vključevala naslednje:

- raztovarjanje, začasno skladiščenje, prevoz na mesto montaže,
- raztovarjanje in sestavljanje, pregled sestavnih delov,
- priprava betonske nosilne konstrukcije,
- nakup elektromotorja, vgradnja v črpalko, povezava s črpalko,
- elektroinstalacija,
- montaža merilcev pretoka in ventilov,
- pleskanje in izolacija,
- preizkus pred zagonom.

Zdaj je črpalka montirana, potrebno pa jo je še povezati z drugimi procesnimi enotami, montirati regulacijske zanke, postaviti in opremiti nadzorni prostor ipd., kar pa so že druge postavke, ki jih bomo obravnavali v nadaljevanju.

Pri preliminarni ekonomski analizi običajno vzamemo, da znašajo stroški montaže 43 % nakupne cene procesnih enot:

$$\text{Cena montirane opreme} = 1{,}43\, c_n \qquad (5.2)$$

43 % je povprečna vrednost za obrate, v katerih nastopajo trdne in tekoče snovi, medtem ko je montaža nekoliko dražja (47 %), če obrat obdeluje le tekočine. V to vrednost je vključena cena materiala in dela; velja mnenje, da gre tri četrtine stroškov montaže za plačilo delavcev. V razvitih državah ocenjujejo vrednost povprečne delovne ure na okoli 40 $.

b) Ocevje

V to postavko spada sistem cevi, ki povezuje procesne enote med seboj ter procesne enote z viri pogonskih sredstev, zraven tega pa še sistem cevi za izpuh, ročni in kontrolni ventili, nosilna konstrukcija cevovodov, izolacija cevovodov in sistemi zaščite proti zamrzovanju, varnostni ventili in še mnogi drugi elementi, ki so povezani z ocevjem.

Ocevje je pogosto ena najdražjih postavk investicije, zato je treba faktor skrbno izbrati. Izbira je odvisna od tega, ali obrat obdeluje izključno trdne snovi, ali izključno tekočine, ali pa mešano trdne snovi in tekočine. Tipične vrednosti faktorjev, s katerimi izračunamo ceno ocevja, so:

Obrati, ki obdelujejo trdne snovi	10 – 20 %	nakupne cene
Obrati, ki obdelujejo trdne in tekoče snovi	14 – 43 %	nakupne cene
Obrati, ki obdelujejo tekočine	43 – 86 %	nakupne cene

Seveda ne preseneča, da so stroški za ocevje najnižji pri obratih s trdnimi snovmi.

Območja vrednosti faktorjev so precej široka in potrebne so določene izkušnje, da izberemo ustrezno vrednost. Npr. pri obratih, ki obdelujejo pretežno tekočine v šaržnih postopkih, izberemo spodnjo vrednost, t.j. 43 %, pri kontinuirnih obratih s kompleksnim sistemom cevovodov pa zgornjo vrednost, t.j. 86 %. Večina obratov v kemijski procesni industriji se uvršča v zgornji del območja, tako da je povprečna vrednost faktorja okoli 60 %.

Pri projektih majhnega obsega je lahko takšna ocena zelo nezanesljiva, zato moramo v teh primerih uporabiti katero od natančnejših metod za ocenjevanje ocevja.

c) Instrumentacija
V to postavko štejemo merilne instrumente in regulatorje z vsemi električnimi povezavami; računalnike in terminale v obratu in v nadzorni sobi; alarme; instrumente za sprotno analizo tokov itd.

Cena instrumentov je odvisna od stopnje avtomatizacije procesa:

- Če je nadzor procesa pretežno ročen, cena instrumentacije ne presega 15 % nakupne cene procesne opreme.
- Za popolnoma avtomatizirane procese znaša ta faktor okrog 30 %, oz. za zelo velike avtomatizirane obrate celo do 40 %.

d) Izolacija
Stroški izolacije so običajno vključeni v faktorjih za montažo in ocevje. Vendar pa je lahko v nizko temperaturnih obratih cena izolacije nenavadno visoka. V takih primerih dodamo 8 % od nakupne cene opreme za izolacijo.

e) Električna napeljava
Cena celotne električne napeljave znaša okoli 11 % nakupne cene opreme.

f) Zgradbe
Sodobni kemijski obrati so v večini primerov odprte konstrukcije in to celo v krajih s hladnim in neprijaznim podnebjem, čeprav je potencialna nevarnost za zaposlene zaradi tega večja (npr. zaradi zaledenelih površin). Vendar je v zaprtih prostorih veliko večja nevarnost kopičenja vnetljivih ali strupenih snovi.

Z izrazom zgradbe imamo v mislih betonsko temeljno konstrukcijo, na kateri je postavljen obrat, stopnice, nadzorni prostor, pisarne, laboratoriji, jedilnice, garderobe in skladišča. Vrednosti faktorjev so naslednje:

Obrati, ki obdelujejo tekočine	6 – 45 %	nakupne cene
Obrati, ki obdelujejo trdne snovi	15 – 70 %	nakupne cene

Spodnje vrednosti uporabimo, kadar gre za razširitev ali spremembo obrata, zgornje vrednosti pa, ko gre za gradnjo obrata na popolnoma neopremljenem zemljišču. Povprečna vrednost faktorja za velik nov obrat, ki obdeluje pretežno tekočine, je 25 %. Trdne snovi zahtevajo v splošnem večjo zaščito pred vremenskimi vplivi.

g) Priprava zemljišča
V to skupino spada: izkop in planiranje zemljišča, gradnja ceste, železniškega tira, ograje, hidrantov, asfaltiranje parkirišč ipd., kar ocenjujemo na 16 % nakupne cene opreme.

h) Pomožni obrati
Med pomožne obrate štejemo vse obrate ali postrojenja, ki zadovoljujejo potrebe procesa, kot so npr.:

- Hladilni sistemi, grelni sistemi z vročim oljem, generatorji inertnih plinov, hladilni stolpi, peči za sežig trdnih odpadkov.
- Obrati, v katerih pridobivamo pogonska sredstva (npr. paro, električno energijo), komprimiran zrak in obrati za pripravo vode.
- Obrati za obdelavo odpadkov.
- Sistemi kanalizacije, odvodnjavanja in zbiranja izlitih snovi.
- Distribucijske zmogljivosti (postaja za nalaganje tovornjakov, nakladalni dok v pristanišču).

Priporočene so naslednje vrednosti faktorjev:

- Za manjše spremembe v obstoječih obratih in za različne projekte majhnega obsega 0 % nakupne cene procesne opreme.

- Za nove obrate, ki zahtevajo le malo dodatnih pomožnih zmogljivosti 15 %. Tudi če so vse pomožne zmogljivosti že na voljo, je ponavadi potrebno razširiti kanalizacijo, cevovode za pogonska sredstva, obrate za odstranjevanje odpadkov…
- 15 do 40 % v primeru, ko gre za nov obrat na že opremljenem zemljišču (npr. v industrijski coni).
- 40 do 140 % za obrat, ki ga postavimo na popolnoma neopremljenem zemljišču.

Pri gradnji obrata na neopremljenem zemljišču je razpon vrednosti tako velik, da je bolje natančno definirati vse postavke in jih oceniti ločeno.

Naloga 5.1. Farmacevtski intermediat, ki je občutljiv na kisik, obdelujemo v reaktorju s prostornino 3,785 m^3. Preden napolnimo reaktor z intermediatom, moramo zmanjšati vsebnost kisika z 21 % (zrak) na 0,01 %. Zato uporabljamo dušik, ki vsebuje 0,001 % kisika. Izračunajte dnevno porabo dušika v m^3 pri standardnih pogojih, če imamo 6 šaržnih reaktorjev in potrebuje vsaka šarža 12 ur za obdelavo.

5.1.2. Posredna osnovna sredstva

Pomemben del investicije so posredna osnovna sredstva, ki se nanašajo na sredstva za tehnično (tehnološko) in gradbeno (konstrukcijsko) načrtovanje.

Sredstva za **tehnično in tehnološko načrtovanje** so povezana s stroški za različne inženirske dejavnosti:

- priprava načrtov in dokumentacije za proces.
- načrtovanje procesnih enot s kemijskega vidika (npr. določitev števila prekatov v destilacijski koloni).
- načrtovanje procesnih enot s strojniškega vidika (npr. načrtovanje debeline stene destilacijske kolone, nosilne konstrukcije itd.)
- priprava shem in modelov (procesne sheme, načrt zemljišča, načrti regulacijskih zank…).
- načrtovanje z gradbenega in električnega vidika (zgradbe, posegi v zemljišče…).
- nakupna funkcija (priprava povpraševanja, nakup opreme, nadzor plačil, pogajanja z dobavitelji surovin, nakup rezervnih delov).
- poslovna funkcija (časovno razporejanje, nadzor stroškov, nadzor gradnje).
- zagon obrata, ki traja ponavadi 4 mesece do enega leta. Priprava navodil in usposabljanje tehnologov.

Sredstva za **gradbeno (konstrukcijsko) načrtovanje** vključujejo med drugim davke in prevozne stroške za transport procesne opreme, stroške za postavitev začasnih stavb, nakup in izposoja orodij in težke mehanizacije, stroške za material in plačila delavcem pri zagonu. Tudi v času zagona moramo računati na številne stroške za popravila, spremembe in izboljšave.

Sredstva za tehnično in gradbeno načrtovanje ponavadi določamo skupaj, ker je nekatere dejavnosti težko razvrstiti v eno ali drugo skupino. Običajno faktor za posredna osnovna sredstva znaša 25 % neposrednih osnovnih sredstev. V primeru majhnih projektov (izboljšave obstoječih obratov, pilotni obrati) ga povečamo na 30 do 35 % in celo na 40 % pri projektih, ki zahtevajo veliko znanja in načrtovanja.

Vsota neposrednih in posrednih osnovnih sredstev ($I_{NPOS} = I_{NOS} + I_{POS}$) pa še vedno ne predstavlja celotne investicije v osnovna sredstva. Pomemben dodatni strošek je **plačilo pogodbenim izvajalcem**, ki bodo postavili obrat, in znaša od 5 do 8 % vsote neposrednih in posrednih osnovnih sredstev. Zaradi tega imajo velika podjetja svoje konstruktorske ekipe, čeprav tudi v tem primeru upoštevamo ta faktor, ker želijo konstruktorski oddelki prikazovati dobiček.

Zadnja postavka pri faktorski metodi nakupnih cen je **faktor negotovosti**, ki zajema vse nepredvidene in naključne izdatke. Izkušnje namreč kažejo, da bolj kot je nek projekt tvegan, večja je verjetnost, da smo spregledali katerega od ključnih elementov. Faktorja negotovosti ne upoštevamo le pri preliminarnem ocenjevanju, ampak ga vključimo tudi pri kasnejših ocenah in z njim upoštevamo različne nepričakovane probleme pri postavitvi obrata, npr. stavke, zamude, velik porast cen itd. Tipične vrednosti faktorjev negotovosti so:

5 % od I_{NPOS} za uveljavljene komercialne procese
10 % od I_{NPOS} za procese, ki se večkrat spreminjajo
20 % od I_{NPOS} za tvegane procese

Te vrednosti še prilagodimo s faktorji, ki upoštevajo velikost obrata in so odraz dolgoletnih opažanj, da so investicije za velike obrate ponavadi precenjene, za majhne projekte pa podcenjene:

Z 0,8 pomnožimo faktor negotovosti, če gre za velike obrate.
Z 1,0 pomnožimo faktor negotovosti, če gre za običajne obrate.
Z 1,3 pomnožimo faktor negotovosti, kadar gre za eksperimentalne enote, pilotne obrate ali majhne dodatke k obstoječim obratom.

Skupna vrednost investicije je tako vsota neposrednih osnovnih sredstev, posrednih osnovnih sredstev, plačil pogodbenim izvajalcem in dodatek zaradi negotovosti. Faktorsko metodo prikazuje tabela 5.1.

Tabela 5.1. Pregled postavk v faktorski metodi nakupnih cen

A. Neposredna osnovna sredstva (I_{NOS})	
1. Nakupna cena procesne opreme (c_n)	$1{,}00 \cdot c_n$
2. Montaža	43 % c_n; oz. 47 % c_n, če nastopajo v procesu samo tekočine
3. Ocevje	Trdne snovi: 10-20 % c_n Trdne snovi-tekočine: 14-43 % c_n Tekočine: 43-86 % c_n
4. Instrumenti	Brez avtomatiziranega nadzora: 15 % c_n Avtomatiziran nadzor: 30 % c_n Računalniški nadzor: 40 % c_n
5. Izolacija	Nizko temperaturni obrati: 8 % c_n
6. Električna napeljava	11 % c_n
7. Zgradbe	Tekočine: 6-45 % c_n Trdne snovi: 15-70 % c_n
8. Priprava zemljišča	16 % c_n
9. Pomožni obrati	Obstoječi: 0 %; Malo dodatnih zmogljivosti: 15 % c_n Veliko dodatnih zmogljivosti: 15-40 % c_n Nov obrat na neopremljenem zemljišču: 40-140 % c_n
	$\Sigma = I_{NOS}$
B. Posredna osnovna sredstva (I_{POS})	
10. Inženiring **11.** Gradnja }	25 % I_{NOS} (običajni projekti) 30-35 % I_{NOS} (majhni projekti) 40 % I_{NOS} (projekti, ki zahtevajo veliko načrtovanja)
	$\Sigma = I_{POS}$
C. Neposredna in posredna osnovna sredstva (I_{NPOS})	$I_{NPOS} = I_{NOS} + I_{POS}$

Tabela 5.1. nadaljevanje

D. Osnovna sredstva (I_{OS})		
12. Plačilo izvajalcem	5-8 % I_{NPOS}	
13. Faktor negotovosti	Uveljavljeni projekti: 5 % I_{NPOS} Procesi, ki se spreminjajo: 10 % I_{NPOS} Tvegani projekti: 20 % I_{NPOS}	
	Korekcija faktorja negotovosti: · 0,8 veliki komercialni obrati · 1,0 običajni obrati · 1,3 eksperimentalne enote, pilotni obrat	
I_{OS} = I_{NOS} + I_{POS} + (12 + 13)		

5.2. Langovi faktorji

Pri faktorski metodi nakupnih cen je določen razpon vrednosti faktorja za vsako postavko osnovnih sredstev; v mnogih primerih je izbira vrednosti odvisna od tega, ali obrat obdeluje tekočine, trdne snovi ali oboje. Če seštejemo tipične vrednosti vseh faktorjev za obrat, ki obdeluje npr. samo tekočine, dobimo skupni faktor, s katerim moramo pomnožiti nakupno ceno opreme, da dobimo vrednost osnovnih sredstev. Ta poenostavljeni pristop je že pred mnogimi leti uvedel uvedel Lang (1948), zato faktorje, ki jih je predlagal, imenujemo Langovi faktorji. Faktorji so dobljeni na osnovi opažanja, da je za obrat s tekočinami skupna vrednost osnovnih sredstev približno 5 krat tolikšna, kot je nakupna cena opreme (Priloga 6).

za obrate, ki obdelujejo tekočine: $f_L = 5{,}2$
za obrate, ki obdelujejo tekočine in trdne snovi: $f_L = 4{,}0$
za obrate, ki obdelujejo trdne snovi: $f_L = 3{,}4$

Investicijo v osnovna sredstva nato izračunamo z naslednjo enostavno zvezo:

$$I_{OS} = f_L \cdot c_n \tag{5.3}$$

Metoda Langovih faktorjev je enostavna, vendar je bolje, da uporabimo kakšno natančnejšo metodo, če le imamo na razpolago dovolj informacij.

5.3. Metoda po Wilson-u

To je zelo preprosta metoda za grobo oceno investicije v osnovna sredstva, ki ne zahteva izračuna nakupne cene za vsako posamezno procesno enoto. Temelji na naslednji korelaciji:

$$I_{OS} = f_{Inv} \cdot N \cdot (21 \cdot p^{0.675}) \cdot F_m F_p F_T \tag{5.4}$$

kjer je:

I_{OS} investicija v osnovna sredstva v GBP (£) za leto 1971,
f_{Inv} investicijski faktor (podoben Langovim faktorjem; ima vrednosti od 1,3 do 4; odvisno od prevladujočega agregatnega stanja snovi v procesu; za kapacitete nad 10 000 t/a in tekoče agregatno stanje je vrednost okoli 1,8, za tekoče in trdno okoli 1,5, za trdno 1,3),
N število najpomembnejših procesnih enot v procesu; upoštevamo reaktorje, kolone, kompresorje, toplotne prenosnike, ne pa črpalk,
p obseg proizvodnje (t/a),
F_m korekcijski faktor za material (vrednosti od 1 za ogljikovo jeklo do 2 za titan),
F_p korekcijski faktor za tlak (npr. 1 za tlake do 7 bar, 1,3 za visoke tlake npr. 400 bar),

F_T korekcijski faktor za temperaturo (1,05 za 100°C; 1,08 za 500 °C; 1,15 za 1000 °C itd.).

Natančnost te metode naj bi bila ± 30 % za letni obseg proizvodnje med 10 000 in 100 000 t.

5.4. Potenčni faktorji (Capacity Exponent)

Pravilo šestih desetin, ki smo ga opisali v prejšnjem poglavju in se uporablja za napoved cen posameznih procesnih enot, lahko uporabimo tudi za ocenjevanje osnovnih sredstev celotnih obratov, le da je v tem primeru povprečna vrednost eksponenta bližje sedmim desetinam. Če torej poznamo I_{OS} za obrat A, ki proizvede v enem letu določeno količino izdelka (p_A), lahko ocenimo I_{OS} obrata B, ki proizvaja enak produkt z enakim postopkom v obsegu p_B na sledeč način:

$$I_{OS}^{B} = I_{OS}^{A}\left(\frac{p_B}{p_A}\right)^{0,7} \tag{5.5}$$

kjer je s p označena letna proizvodnja obrata A oz. B.

Vrednost eksponenta prilagajamo glede na velikost obrata. Za zelo velike procese (npr. s kapaciteto 250 000 t/a) je vrednost eksponenta skoraj 0,8, medtem ko je pri majhnih obratih ta vrednost med 0,3 in 0,5.

Točnost ocene je odvisna od stopnje podobnosti med referenčnim obratom in obratom, za katerega računamo investicijo. Če je podobnost znatna, je lahko točnost ocene v razredu ± 10 %. Potenčne zveze lahko uporabljamo za največ petkrat večje oz manjše kapacitete obratov.

Podatke o eksponentih in referenčnih investicijah za nekatere procese najdemo v priročniku Perry, str. 9-67 in sicer za leto z M&S indeksom 1000 (Priloga 7).

5.5. Faktor obračanja osnovnih sredstev (Turnover Ratio)

Z uporabo faktorja obračanja osnovnih sredstev (TR) lahko približno ocenimo vrednost osnovnih sredstev za proces, katerega proizvodnja (in prodaja) je znana. Definiran je z naslednjo zvezo

$$TR = \frac{R}{I_{OS}} = \frac{c \cdot p}{I_{OS}} \tag{5.6}$$

v kateri je:
R letna prodaja (€/a),
c cena enote proizvoda (€/kg),
p obseg proizvodnje (kg/a),
I_{OS} vrednost osnovnih sredstev (€).

Faktor TR torej pomeni, kolikokrat se osnovna sredstva "obrnejo" glede na prihodek od prodaje produktov. Povprečna vrednost faktorja obračanja osnovnih sredstev v kemijski procesni industriji je bila vse do osemdesetih let okoli 1. To ne drži več, saj se je vrednost faktorja povečala že proti 2 in več.

Naloga 5.2. Načrtujemo obrat za proizvodnjo fenola s kapaciteto 50 000 t/a. Kakšno ceno bi izbrali za fenol, da bi dosegli povprečno vrednost faktorja obračanja osnovnih sredstev za kemijsko industrijo (≈ 1,75). Znano je, da je znašala naložba v podoben obrat s kapaciteto 80 000 t/a 34,29 mio USD. Eksponent je 0,75.

5.6. Modularna faktorska metoda

Nekateri avtorji (npr. Guthrie) definirajo ceno montirane procesne enote kot delež celotne investicije v osnovna sredstva, ki je povezan s to enoto. Zato razdelijo obrat na posamezne procesne naprave ali module.

Glavni stroškovni elementi so pri Guthrie-jevi metodi razporejeni v 6 skupin, od katerih predstavlja prvih pet neposredna osnovna sredstva in zadnja, šesta, posredna osnovna sredstva:

1. kemijske procesne enote (toplotni menjalniki, kompresorji, posode…),
2. obdelava trdnih snovi (mlini, centrifuge, sušilniki, drobilniki, filtri…),
3. priprava zemljišča (izkop, planiranje, gradnja ceste, parkirišč, protipožarnih sredstev),
4. zgradbe (jeklene konstrukcije, pisarne, laboratoriji, skladišča, garaže, restavracije…),
5. pomožni obrati (para, elektrika, hladilna voda, inertni plini, pristaniški dok…),
6. posredna osnovna sredstva (prevoz, gradnja, inženiring).

Najobširnejša je prva skupina kemijskih procesnih enot. Osnovno (nakupno) ceno modula določimo enako kot prej (iz grafa ali z enačbo), nato pa to ceno pomnožimo s posebnim faktorjem, F_{BM} (bare module factor), s katerim izračunamo prispevek modula k vrednosti investicije, t.j. ceno montirane (vgrajene) procesne enote oz. modula. Cena procesnega modula tako vključuje nakupno ceno procesne enote (npr. toplotnega prenosnika, kompresorja, črpalke itd.) skupaj s sredstvi za materialne stroške montaže in stroške dela pri montaži ter s posrednimi sredstvi.

Ko določimo cene vseh modulov, jih seštejemo ter dodamo še ocenjene stroške preostalih štirih neposrednih postavk (zgradbe, priprava zemljišča, pomožni obrati in enote za obdelavo trdnih snovi).

Module kemijskih procesnih enot opisuje 7 primarnih postavk:

1. osnovna (nakupna FOB) cena, E,
2. materialni stroški montaže, m,
3. stroški dela za montažo, L,
4. skupaj stroški dela in materialni stroški, $L+E+m$, kar predstavlja ceno montirane opreme brez vključene postavke posrednih stroškov (M&L cost),
5. sredstva za posredne stroške,
6. cena montirane opreme (bare module cost),
7. celotna cena montirane opreme (total module cost)

in 14 sekundarnih postavk:

1. do 7.	materialni stroški montaže (ocevje, betoniranje, jeklene konstrukcije, instrumenti, električna instalacija, izolacija, pleskanje),
8., 9.	stroški dela za montažo (priprava materiala, postavitev procesnih enot),
10. do 14.	posredni stroški ((prevoz, zavarovanje, davki), gradnja, inženiring, plačilo izvajalcem, negotovost).

Primarne postavke določajo osnovna razmerja in velikost investicije, sekundarne postavke predstavljajo detajle, ki jih vključujemo, ko projekt napreduje. Preostale postavke (zgradbe, priprava zemljišča, pomožni obrati) je treba pri Guthriejevi metodi določiti posebej. Za tipični kemijski procesni modul dobimo faktorje, ki jih lahko uporabimo v zgodnji fazi razvoja projekta, ko še nimamo bolj natančnih informacij:

1. osnovna cena	E		100
2. sredstva za materialne stroške montaže:			
ocevje			32,0
betoniranje			8,9
jeklene konstrukcije			1,7
instrumenti			7,3
električna instalacija			8,3
izolacija			3,4
pleskanje			0,6
skupaj	m	$E \times 0{,}62$	62,2
celotna materialna sredstva	$E + m = M$		162,2
3. sredstva za stroške dela pri montaži	L	$E \times 0{,}58$	58,0
4. materialni stroški in stroški dela	$M + L$		**220,2**
5. posredna osnovna sredstva		$(M + L) \times 0{,}34$	74,9
6. cena montirane opreme			**295,1**
negotovost in plačila izvajalcem		+ 18 %	53,1
7. celotna cena mont. opreme			**348,2**

Postavka 4 znaša 220,2 enot in predstavlja ceno montirane procesne opreme brez upoštevanih posrednih sredstev (M&L cost), če je osnovna cena, E, enaka 100 enot. Iz tega sledi normirana vrednost faktorja (M&L faktor) $F_{M\&L} = 2{,}20$.

Postavka 6 znaša 295,1 enot in predstavlja ceno montirane procesne opreme z dodano postavko posrednih sredstev (bar module cost), če je osnovna cena, E, enaka 100 enot. Iz tega sledi normirana vrednost faktorja (bare module factor ali module factor - norm) $F_{BM} = 2{,}95$.

Celotna cena modula 348,2 (postavka 7) določa vrednost normiranega faktorja (total module factor) $F_T = 3{,}48$. Dobimo ga tako, da faktor F_{BM} povečamo za 18 % (15 % za negotovost, 3 % za plačila pogodbenim izvajalcem).

Pomembna postavka je razmerje med stroški dela in materialnimi stroški, L / M. To razmerje se razlikuje pri različnih aktivnostih in je pomembno merilo produktivnosti, saj naj bi bila njegova vrednost med 0,32 in 0,40. V zgornjem primeru je to razmerje enako 58 / 162,2 = 0,36.

Izračun cene montirane opreme poteka po naslednjih korakih:

1. <u>Osnovna (nakupna) cena</u>
(FOB cena, odčitamo jo iz grafa) c_o

2. <u>Korigirana osnovna (nakupna) cena</u>
(korekcija zaradi nestandardnega materiala, tlaka, izvedbe) $c_n = c_o \cdot F_c$ (5.7)

3. <u>Montaža</u> $c_{montaže} = c_o \cdot F_{M\&L} - c_o = c_o \cdot (F_{M\&L} - 1)$ (5.8)

4. <u>Cena montirane opreme brez posrednih sredstev</u>

$$c_m' = c_o \cdot (F_{M\&L} - 1) + c_o \cdot F_c = c_o \cdot (F_{M\&L} + F_c - 1) \quad (5.9)$$

5. Cena montirane opreme

$$c_m = c_o \cdot (F_{BM} - 1) + c_o \cdot F_c = c_o \cdot (F_{BM} + F_c - 1) \qquad (5.10)$$

Vrednost faktorja F_{BM} je odvisna od velikosti osnovne cene (dollar magnitude), zato so podane različne vrednosti faktorjev:

A. F_{BM} za osnovno ceno do 200 000 $
B. F_{BM} za osnovno ceno od 200 000 do 400 000 $
C. F_{BM} za osnovno ceno od 400 000 do 600 000 $
D. F_{BM} za osnovno ceno od 600 000 do 800 000 $
E. F_{BM} za osnovno ceno od 800 000 do 1 000 000 $

Ko ocenimo module procesnih enot, ovrednotimo še preostale postavke, npr. zgradbe, pomožne obrate, pripravo zemljišča itd. Za vse te postavke so podani *M* & *L* faktorji in z njihovo uporabo lahko izračunamo ceno postavljene (vgrajene) postavke, npr. zgradbe. Ta znesek povečamo še za posredne stroške in faktor negotovosti (npr. 15 %).

Naloga 5.3. Tlačna posoda ima premer 192 cm in višino 23,8 m. Izdelana je iz nerjavnega jekla. Tlak v njej je 7 bar. Izračunajte ceno montirane posode (M&S = 1094). Koliko bi znašala sredstva za montažo (material in delo) – Priloga 8?

Naloga 5.4. Ocenite ceno (M&S = 1094) montiranega toplotnega prenosnika s toplotnim tokom 125,6 kW, v katerem hladimo zrak s 123 °C na 35 °C s hladilno vodo, ki se pri tem segreje z 11°C na 37 °C. Prenosnik bo iz ogljikovega jekla s pomičnim pokrovom, tlak bo 17 bar. Koeficient toplotnega prehoda U = 113,6 W/(m^2·K). Upoštevajte 15 % faktor zaradi negotovosti pri ocenjevanju. (Priloga 9)

Naloga 5.5. Izračunajte ceno montiranega centrifugalnega kompresorja iz primera v poglavju 4.2.4. Izračunajte potrebna sredstva za delo pri montaži. (Priloga 10)

Naloga 5.6. Izračunajte ceno vgrajenega turbinskega mešala z močjo 4 kW. Končna cena naj vsebuje tudi posredna osnovna sredstva (npr. 30 %) in dodatek zaradi negotovosti pri napovedi (npr. 15 %). Izračunajte potrebna sredstva za montažo.

---

6. Amortizacija

V 4. in 5. poglavju smo se ukvarjali z oceno investicije projekta, sedaj prehajamo k analizi stroškov, ki so povezani s projektom. Pregledali bomo različne skupine odhodkov projekta, ki jih primerjamo s prihodki in tako izračunamo presežek prihodka nad odhodki oz. dobiček.

Obratovalni stroški so neposredno povezani s proizvodnim procesom in se pojavljajo neprekinjeno skozi vso življenjsko dobo projekta. V tem se razlikujejo od investicijskih sredstev, ki jih plačamo le enkrat (vsaj v osnovi). V tem poglavju se bomo posvetili le eni od postavk, ki jih uvrščamo med obratovalne stroške, t.j. amortizaciji.

Vsi obratovalni stroški, razen amortizacije, predstavljajo hkrati tudi izdatek, t.j. denar, gotovino, ki jo plačujemo za porabo surovin, pare, električne energije, plače delavcem itd. Znesek amortizacije pa ne predstavlja gotovinskega plačila, ampak je v resnici fiktiven strošek, ki ga nihče nikomur ne plača. Pomen amortizacije je v tem, da vpliva na znesek davka, ki ga mora podjetje plačati in v odpisovanju vrednosti osnovnih sredstev, kot bomo videli v nadaljevanju. Z amortizacijo lahko definiramo razliko med dvema konceptoma: konceptom dobička in konceptom denarnega toka.

6.1. Koncept amortizacije

Procesna oprema se s časom stara, zaradi uporabe se obrabi, zaradi napredka tudi zastari; posledica tega je, da se vrednost opreme zmanjšuje oz. razvrednoti. Če naj obrat deluje tudi po tem obdobju, moramo posamezne procesne enote zamenjati. Lahko se tudi zgodi, da moramo proizvodnjo zaradi različnih razlogov opustiti in čeprav je oprema še v dobrem stanju, je običajno ne moremo dobro prodati, niti ne uporabiti v novem procesu. V obeh primerih velja, da so osnovna sredstva izgubljena, začetni vloženi znesek se ne povrne in s tem predstavlja veliko obremenitev za proces. Razvrednotenje osnovnih sredstev dejansko poteka neprekinjeno skozi vso življenjsko dobo projekta in zaradi tega mu lahko pripišemo značaj časovno odvisnega obratovalnega stroška.

Vzemimo naslednji primer: imamo 8000 € in dve možnosti, da jih investiramo:

možnost A: ustanovitev taksi službe
možnost B: polog denarja na banko

Zanima nas, katera alternativa je ugodnejša, če se po dveh letih odločimo za prekinitev projekta. Za alternativo A predpostavimo, da kupimo osebni avto v vrednosti 8000 € in zaposlimo dva voznika, ki ga bosta vozila. Prihodki in obratovalni stroški so ocenjeni takole:

Prevoženi kilometri: 36 000 km/a
Prihodek: povprečno 0,7 €/km
Obratovalni stroški:

Bencin in olje:	0,08	€/km
Plačilo zavarovanja in licence:	840	€/a
Vzdrževanje:	420	€/a
Dva voznika:	18 000	€/a

Letni prihodek je potem: 36 000 km/a × 0,7 €/km = 25 200 €/a
Odhodki:

Bencin in olje: 36 000 km/a × 0,08 € /km =	2880	€/a
Zavarovanje, licenca, vzdrževanje:	1260	€/a
Dva voznika:	18 000	€/a
Skupaj:	22 140	€/a

Presežek prihodka nad odhodki (dobiček)
= 25 200 – 22 140 = 3060 €/a

Za alternativo B predpostavimo, da smo denar vezali na banko po 14 % letni obrestni meri, pri čemer na koncu prvega leta dvignemo znesek obresti, ki je 8000 × 0,14 = 1120 € in enako tudi na koncu drugega leta.

Kakšna je primerjava alternativ po dveh letih? Pri alternativi A je v dveh letih dobiček pred plačilom davkov in prispevkov 2 a × 3060 €/a = 6120 € in pri alternativi B 2 a × 1120 €/a = 2240 €. Tako se na prvi pogled zdi, da je alternativa A ugodnejša.

Kaj pa če projekt po dveh letih prekinemo? Pri alternativi B gremo enostavno na banko in dvignemo glavnico 8000 €. Pri alternativi A je avto v dveh letih izgubil precej svoje vrednosti in prodamo ga lahko, denimo, za 2000 €. Obe varianti opišemo z naslednjimi denarnimi tokovi:

Možnost A		Možnost B
- 8000	Investicija	- 8000
6120	Dobiček v dveh letih	2240
2000	Prekinitev	8000
120	Denarni tok	2240

Iz zgornje tabele je razvidno, da alternativa A sploh ni tako ugodna, kot je kazalo na začetku. Izkaže se, da smo naredili v prvotnem izračunu napako, ker nismo upoštevali, da se je vrednost avtomobila v dveh letih zmanjšala za 6000 €.

Poiskati je torej treba način, s katerim bomo začetno vrednost investicije porazdelili skozi celotno življenjsko dobo projekta, tako da bo to ustrezalo razvrednotenju opreme v tem času. Pristop se imenuje ***amortiziranje***. Amortizacija predstavlja letni strošek, ki ustreza zmanjšanju vrednosti opreme v enem letu, zato jo bomo v tem primeru imenovali *letna amortizacija*. Na ta način se začetna investicija povrne v času, ko se vrednost opreme praktično v celoti izniči.

Letna amortizacija ne zajema samo nabavne cene procesne opreme, ampak tudi vse druge postavke, ki smo jih spoznali pri ocenjevanju osnovnih sredstev. Ne zajema pa treh postavk, ki skozi življenjsko dobo ne izgubljajo svoje vrednosti:

Preostala (rezidualna) vrednost (angl. salvage value) je vrednost opreme ob izteku življenjske dobe. To je edini del osnovnih sredstev, ki se ne amortizira.

Zemljišče. Ker zemljišče ne izgublja svoje vrednosti, ga tudi ne amortiziramo, saj lahko ob izteku življenjske dobe procesa na njem postavimo nov proces ali ga prodamo.

Obratna sredstva predstavljajo denar, ki ga vložimo v različne dobrine, ki morajo biti na zalogi in katerih vrednost se povrne.

6.2. Vpliv amortizacije na dobiček

Odhodke, ki so neposredno povezani s proizvodnim procesom, imenujemo materialni stroški oz. inženirji raje uporabljamo izraz obratovalni stroški. Zanje je značilno, da nastajajo ves čas in to bolj ali manj neprekinjeno in jih izražamo v denarni enoti na časovno enoto, npr. €/a. Tipični obratovalni stroški so npr. stroški za surovine, paro, hladilno vodo, plače delavcem itd.

V nasprotju z obratovalnimi stroški je investicija enkraten znesek (npr. v €), ki ga z uporabo koncepta amortizacije pretvorimo v časovno odvisen znesek (v €/a). Le-tega obravnavamo kot strošek, enako kot obratovalne stroške. Obratovalni stroški in amortizacija štejejo med redne odhodke podjetja. Poznamo pa še odhodke iz financiranja (npr. plačila obresti) in izredne odhodke (npr. plačilo sodne kazni), katerih podrobna razdelitev za inženirje ni tako zanimiva, zato jim bomo s skupnim izrazom imenovali "drugi stroški".

Če od vseh prihodkov odštejemo vse odhodke, t.j. obratovalne in druge stroške, dobimo celotni dobiček:

celotni dobiček = prihodki – obratovalni stroški – drugi stroški

$$P_B = R - c_{obr} - c_{dr} \tag{6.1}$$

kjer obratovalni stroški predstavljajo stroške dela, pare,…, amortizacije.

V enačbi (6.1) predstavlja celotni dobiček P_B osnovo za obdavčitev. Če od njega odštejemo znesek prispevkov in davkov iz dobička, dobimo čisti dobiček ali ostanek dobička, P_A. Celotni in čisti dobiček sta časovno odvisni postavki, npr. v €/a.

Obratovalne stroške brez upoštevane amortizacije bomo označevali s c_{obr}'. Velja zveza:

$$c_{obr} = c_{obr}' + D \tag{6.2}$$

V skupnih obratovalnih stroških, c_{obr}, je skrita tudi amortizacija, zato označimo tiste obratovalne in druge stroške, ki dejansko predstavljajo gotovinske izdatke, z E:

$$c_{obr} + c_{dr} - D = E \tag{6.3}$$

Enačbo (6.1) lahko potem zapišemo kot:

$$P_B = R - E - D \tag{6.4}$$

Če označimo skupno davčno stopnjo s t, lahko izračunamo znesek davka, T, ki ga mora podjetje plačati na dobiček:

$$T = t P_B \tag{6.5}$$

oziroma

$$T = t(R - E - D) \tag{6.6}$$

Ostanek dobička, P_A, je:

$$P_A = P_B - T = (1-t)(R - E - D) \tag{6.7}$$

Amortizacijo si včasih napačno predstavljamo kot denar, ki ga plačujemo na poseben račun, na katerem je ob koncu življenjske dobe procesa enak znesek, kot je bila začetna vrednost investicije. Dejansko podjetje zneske amortizacije nenehno investira ali uporabi v drugih finančnih transakcijah. Ker amortizacija dejansko ostane podjetju, mora biti razlika vseh denarnih tokov v projekt in iz projekta enaka vsoti dobička in zneska amortizacije:

$$P_A + D = C_{in} - C_{out} \tag{6.8}$$

in krajše:

$$P_A + D = C_A \tag{6.9}$$

kjer je:
P_A ostanek dobička (€/a),
D letna amortizacija (€/a),
C_A razlika med denarnimi tokovi v projekt (C_{in}) in iz projekta (C_{out}) po obračunanem davku oz. donos.

Torej je amortizacija edina razlika med dobičkom in dejanskim denarnim tokom (donosom), ki ga ustvari projekt in ostane podjetju.

Za denarni tok, C_A, pa velja tudi naslednje:

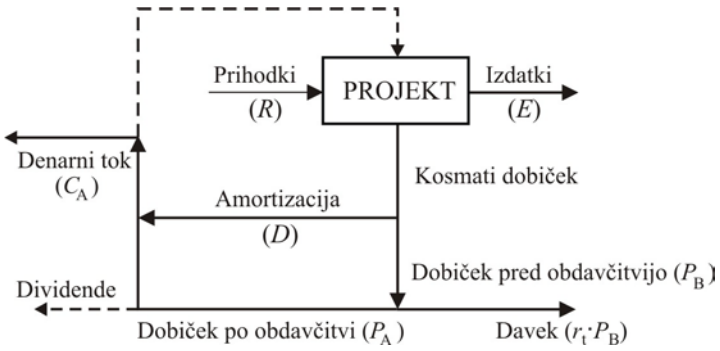
$$C_A = R - E - T \tag{6.10}$$

Če za T vstavimo izraz (2.6), dobimo naslednji izraz:

$$C_A = (1-t)(R-E) + tD \tag{6.11}$$

C_A predstavlja denar, ki ga podjetje zasluži s projektom in ki tudi ostane podjetju. Na začetku obratovanja je prihodek od prodaje pogosto majhen, različni izdatki (E) pa zelo visoki, zato je razlika R-E majhna in C_A se zmanjša.V takem primeru lahko C_A povečamo tako, da povečamo znesek amortizacije v členu tD. S povečanjem amortizacije umetno zmanjšamo dobiček P_B (glej enačbo (6.4)), s tem pa tudi obračunani davek. Slika 6.1 prikazuje najpomembnejše denarne tokove projekta.

Velja pravilo, da amortiziramo, kolikor se da hitro. Zakaj torej ne bi celotne investicije amortizirali kar v prvem letu obratovanja, dobili ogromno izgubo (vsaj na papirju) in se izognili plačilu davka? Ker bi s tem oškodovali tistega, ki mu prispevki in davki pripadajo, t.j. državo, zakonodajalec predpisuje najvišjo stopnjo amortizacije, ki jo prizna kot strošek pred obračunom davka, višje obračunane amortizacije pa ne.



Slika 6.1. Denarni tokovi projekta

6.3. Amortizacija in amortizacijska doba procesne opreme ter obrata

Za amortizacijo je bistvenega pomena določitev amortizacijske dobe procesne enote, zgradbe ali drugega osnovnega sredstva, ki ga amortiziramo. Skozi amortizacijsko dobo, to je v obdobju n let, se vrednost osnovnega sredstva zmanjša od začetne investicijske vrednosti, V_0, do njegove preostale vrednosti S. Za določeno leto k, je knjižna vrednost osnovnega sredstva, V_k, podana z izrazom:

$$V_k = V_0 - \sum_{j=1}^{k} D_j \tag{6.12}$$

kjer je D_j znesek letne amortizacije v letu j.

Amortizacijsko dobo posameznih osnovnih sredstev ali skupin osnovnih sredstev, ki določa obdobje amortiziranja, ocenijo na osnovi preteklih izkušenj. Odvisna je od kvalitete vzdrževanja, korozijskih pogojev, vibracij, hitrosti staranja itd. Tako je lahko amortizacijska

doba reaktorja iz stekla okrog 5 let, sušilnika 25 let in zgradb 30 let ali še več. Za osebne avtomobile je amortizacijska doba le 3 leta.

Zakon o davku od dobička pravnih oseb v Republiki Sloveniji razvršča osnovna sredstva v pet amortizacijskih skupin s predpisanimi najvišjimi letnimi amortizacijskimi stopnjami:
1. gradbeni objekti (10 %),
2. oprema, vozila, mehanizacija (33,3 %),
3. večletni nasadi (14,3 %),
4. osnovna čreda (50 %)
5. druga vlaganja (33,3 %).

Znotraj petih glavnih skupin je še skupno devet podskupin s specifičnimi amortizacijskimi stopnjami (npr. podskupina 2.4. računalniki in računalniška oprema ima predpisano 50 % amortizacijsko stopnjo). Če podjetje obračunava amortizacijo po stopnjah, ki ne presegajo predpisanih stopenj, lahko tako obračunano amortizacijo v celoti vključi med odhodke v davčnem izkazu.

Za procesne enote, ki so tipične v kemijski industriji, je povprečna amortizacijska doba 11 let. Obrat lahko obratuje tudi po izteku formalne amortizacijske dobe, vendar lahko predpostavimo, da se je investicija v tem času že popolnoma povrnila, zato je smiselno omejiti amortizacijsko dobo obrata na neko razumno vrednost. Pri predhodnem ocenjevanju kemijskih obratov predpostavimo skupno amortizacijsko dobo 10 let.

6.4. Metode za izračunavanje letne amortizacije

Kadar se vrednost osnovnega sredstva zmanjšuje pretežno zaradi vpliva časa, uporabimo katero od metod časovnega amortiziranja. Če se vrednost zmanjšuje v odvisnosti od obsega proizvodnje, govorimo o funkcionalnem amortiziranju, ki pa ga tukaj ne bomo obravnavali.
Razlikujemo naslednje načine časovnega amortiziranja:
- enakomerno amortiziranje
- padajoče amortiziranje
- rastoče amortiziranje

Najpogosteje se uporabljata enakomerno in padajoče amortiziranje, o katerih bomo govorili v nadaljevanju.

6.4.1. Enakomerno amortiziranje

Postopek se imenuje tudi linearna metoda ali metoda enakih letnih zneskov (angl. straight-line depreciation). Temelji na predpostavki, da se vrednost osnovnega sredstva zmanjšuje enakomerno iz leta v leto. Metoda je enostavna in se skoraj vedno uporablja pri zgodnjem ocenjevanju projekta zaradi tega, ker so zneski amortizacije vsako leto enaki in tako lahko naredimo analizo za "tipično" leto. Znesek amortizacije izračunamo z naslednjo enačbo:

$$D = \frac{V_0 - S}{n} \tag{6.13}$$

kjer je:
V_0 začetna vrednost osnovnega sredstva (€)
S preostala vrednost (€)
n amortizacijska doba (a)

Amortizacijska stopnja d je definirana kot faktor, s katerim pomnožimo začetno vrednost osnovnega sredstva zmanjšano za preostalo vrednost in dobimo znesek letne amortizacije. Ker je pri linearnem amortiziranju amortizacijska stopnja vsako leto enaka, jo zapišemo kot:

$$d = \frac{1}{n} \tag{6.14}$$

S tem lahko enačbo (6.13) zapišemo kot:

$$D = (V_0 - S)\, d \tag{6.15}$$

in knjižno vrednost osnovnega sredstva na koncu leta k, V_k, izračunamo:

$$V_k = V_0 - (V_0 - S)\sum_1^k d$$

$$V_k = V_0 - \frac{k}{n}(V_0 - S) \tag{6.16}$$

Naloga 6.1. V podjetju proizvedejo letno 50 milijonov kg proizvoda, ki ga prodajo po ceni 1 €/kg. Naložba v osnovna sredstva je 70 mio €. Obratovalni stroški brez amortizacije znašajo 0,3 €/kg in drugi odhodki so 0,16 €/kg. Izračunajte dobiček pred obdavčitvijo, ostanek dobička, če je davčna stopnja 25 %, in denarni tok. Predpostavite enakomerno amortiziranje preko desetih let in ničelno preostalo vrednost.

6.4.2. Padajoče amortiziranje

Postopek imenujemo tudi metoda padajočih letnih zneskov, ker je izračunana amortizacija po tej metodi vsako leto manjša. Metoda namreč temelji na domnevi, da je izraba osnovnih sredstev v prvih letih večja zaradi njegove sodobnosti in manjšega števila okvar. Ta skupina metod je ugodna zato, ker je obremenitev procesa v kasnejših letih, ko stroški vzdrževanja narastejo, manjša. Znani sta dve metodi iz te skupine:

a) metoda padajoče osnove in
b) metoda z vsoto letnih števil.

Pri metodi **padajoče osnove** (angl. double-declining-balance depreciation) je amortizacijska stopnja vsako leto enaka in se uporabi na vsakokratno neodpisano (knjižno) vrednost osnovnega sredstva. Ker se le-ta zmanjšuje, je vse manjši tudi znesek letne amortizacije:

$$D_j = d\, V_{j-1} \tag{6.17}$$

kjer je:
D_j znesek letne amortizacije v letu j (€/a)
V_{j-1} knjižna vrednost osnovnega sredstva na koncu leta j-1 (€)
d amortizacijska stopnja (a^{-1})

Amortizacijska stopnja d je lahko dvakrat tolikšna kot pri linearnem amortiziranju:

$$d = \frac{2}{n} \tag{6.18}$$

Knjižno vrednost osnovnega sredstva za leto k izračunamo z enačbo:

$$V_k = V_0\left(1 - \frac{2}{n}\right)^k \tag{6.19}$$

Pomembno pri tej metodi je, da preostala vrednost S ni upoštevana pri izračunu letnega zneska amortizacije, razen za zadnje leto.

Metoda **vsote letnih števil** (angl. sum-of-years-digits depreciation) temelji na spremenljivih amortizacijskih stopnjah, ki se uporabljajo na začetni vrednosti osnovnega sredstva zmanjšani za preostalo vrednost. Amortizacijska stopnja se z leti zmanjšuje, zato je vse manjši tudi znesek letne amortizacije:

$$D_j = (V_0 - S)\, d_j \tag{6.20}$$

pri čemer d_j izračunamo kot:

$$d_j = \frac{n+1-j}{\sum_1^n k} \tag{6.21}$$

Imenovalec enačbe (6.21) predstavlja vsoto vseh števil od 1 do n, kjer je n amortizacijska doba:

$$\sum_1^n k = 1+2+3+\ldots+ n = \frac{1}{2} n(n+1) \tag{6.22}$$

Tako je npr. pri 10 letni amortizacijski dobi amortizacijska stopnja v prvem letu 10/55, v drugem letu 9/55, v tretjem 8/55 itd. do zadnjega leta, ko je 1/55, kar da skupaj 55/55 = 1.

Naloga 6.2. Prikažite amortizacijsko shemo za obrat, ki ima vrednost osnovnih sredstev 55 mio €, z uporabo treh metod: metode enakomernega amortiziranja, metode padajoče letne osnove in metode vsote letnih števil. Amortizacijska doba naj bo 10 let, preostala vrednost po tem obdobju znaša 5 mio €.

6.5. Izbira metode amortiziranja v predhodnem ocenjevanju projekta

Izbira metode amortiziranja ima velik vpliv na osnovo za izračun davka. Pospešene metode amortiziranja, kot npr. padajoče metode, maksimirajo denarne tokove v prvih letih obratovanja. Velja pravilo, da izberemo tisto metodo amortiziranja, ki daje največjo vsoto sedanjih vrednosti vseh letnih amortizacijskih zneskov. To pa je odvisno od izbrane amortizacijske dobe, preostale vrednosti in obrestne mere.

Pri zgodnjem ocenjevanju projekta ne uporabljamo pospešenih metod, ampak veljajo naslednja pravila:

1	uporabimo enakomerno amortiziranje
2	preostala vrednost naj bo enaka 0
3	predpostavimo amortizacijsko dobo 10 let

Naloga 6.3. Za projekt s podatki, ki jih prikazuje tabela, izračunajte letne zneske amortizacije po metodi padajoče osnove. Izračunajte tudi dobiček, ki je osnova za obdavčitev, ostanek dobička, če je davčna stopnja 48 % in letni donos. Ponovite izračun s preostalima amortizacijskima metodama in izberite najugodnejšo, če je obrestna mera 13 %.

leto	I_{OS}	$R - c_{obr}' - c_{dr}$	
0	- 1000		(naložba)
1		500	
2		500	
3		500	
4		500	
4	200		(preostala vrednost)

(c_{obr}' so obratovalni stroški brez obračunane amortizacije)

7. Prihodek in obratovalni stroški

Na začetku je potrebno omeniti, da pred obratovalnimi stroški običajno ocenimo prihodek projekta. Le-ta predstavlja pozitiven zvezni denarni tok, medtem ko so obratovalni stroški negativni zvezni denarni tokovi.

7.1. Prihodek

Prihodki izvirajo predvsem iz prodaje glavnih produktov, čeprav lahko podjetje prodaja tudi stranske produkte, presežke pogonskih sredstev ipd., pozitivni denarni tokovi pa lahko izvirajo tudi iz različnih najemnin, obresti, udeležbe pri dobičku drugih pravnih oseb ipd. V zgodnji fazi razvoja projekta običajno upoštevamo le prihodek od prodaje produktov, ki ga izračunamo tako, da letno proizvodnjo produkta (npr. v kg/a) pomnožimo z njegovo ceno (npr. v EUR/kg).

7.2. Vrste obratovalnih stroškov

Obratovalni stroški so redni odhodki, ki so neposredno povezani s proizvodnim procesom in nastajajo neprekinjeno pri obratovanju. Nekateri od njih so očitni, npr. stroški surovin, energije, plače delavcem, drugi so manj očitni, npr. plačilo zavarovalne premije ipd. Pri zgodnjem ocenjevanju projekta je nekatere od obratovalnih stroškov relativno enostavno oceniti, za druge potrebujemo določene faktorje (podobno kot pri določanju investicije), s katerimi pomnožimo npr. investicijo v osnovna sredstva, da dobimo oceno za različne vrste obratovalnih stroškov.

Za zanesljivo ocenitev obratovalnih stroškov v zgodnjem ocenjevanju projekta morajo biti izpolnjeni naslednji trije pogoji:

1. definirana procesna shema z izračunano snovno in energijsko bilanco,
2. zanesljiva ocena investicije v osnovna sredstva,
3. definiran obseg proizvodnje. Običajno je osnova za oceno obratovalnih stroškov obratovanje procesa pri polni kapaciteti.

Obratovalni stroški so časovno odvisni. Podjetje jih plačuje v različnih časovnih intervalih, npr. plače delavcem mesečno (v ZDA dvakrat mesečno), pogonska sredstva po dogovoru z dobavitelji, amortizacija pa je letna računovodska transakcija. Pri preliminarnem ocenjevanju predpostavimo, da so vsi obratovalni stroški kontinuirni in da predstavljajo z izjemo amortizacije hkrati tudi gotovinski izdatek. Obratovalne stroške izračunavamo na letni osnovi (npr. €/a) ali glede na krajše časovno obdobje. Pogosto jih izražamo na enoto produkta (npr. €/kg ali €/t).

Obratovalne stroške delimo na stalne in spremenljive. Stalni stroški niso odvisni od obsega proizvodnje (npr. amortizacija), spremenljivi stroški pa se spreminjajo (sorazmerno ali nesorazmerno) z obsegom proizvodnje. Nekateri stroški, ki jih prištevamo med stalne, so:

amortizacija,
zavarovanje,
dajatve državi in občini, ki niso odvisne od poslovnega izida,
splošni stroški.

Značilni spremenljivi stroški so:

stroški surovin,
stroški za paro, električno energijo, vodo, komprimiran zrak,
stroški pakiranja in prevoza.

Nekateri stroški se le malo spreminjajo z obsegom proizvodnje in njihova razvrstitev med stalne in spremenljive stroške ni popolnoma očitna:

plače delavcev v proizvodnji , administraciji in vodstvu,
stroški vzdrževanja (material in delo),

patenti in licence,
stroški obdelave odpadkov,
stroški laboratorijskega spremljanja in kontrole kakovosti.

Seveda ni nujno, da v zgodnjem ocenjevanju projekta ocenimo prav vse, zato si bomo v nadaljevanju ogledali najpomembnejše.

Časovni delež obratovanja

Obratovalne stroške izračunavamo za določeno kapaciteto obrata. Dejanska proizvodnja obrata je odvisna od časovnega deleža obratovanja (stream factor), ki je definiran kot:

časovni delež obratovanja = število obratovalnih dni v letu / 365

S tem faktorjem upoštevamo čas, ko proces ne obratuje zaradi vzdrževalnih del ali zaradi sezonske proizvodnje. Za večino kemijskih procesov je časovni delež obratovanja med 0,90 in 0,95, kar pomeni okrog 335 obratovalnih dni oz. 8040 ur pri neprekinjeni proizvodnji. Vrednost je odvisna od kompleksnosti procesa, npr. potreba po čiščenju ali zamenjavi katalizatorja, čiščenje toplotnih prenosnikov, pregled in popravilo reaktorskih cevi. Pri sezonskem obratovanju je časovni delež bistveno nižji, npr. 0,3 pri predelavi paradižnika.

Nizki časovni deleži niso zaželeni, ker so v obdobju, ko proces ne obratuje, osnovna sredstva (in s tem vložen kapital) neizrabljena.

7.3. Stroški surovin

Stroški za nakup vhodnih surovin so najpomembnejši in pogosto tudi največji v skupini obratovalnih stroškov. Naraščajo popolnoma sorazmerno z obsegom proizvodnje. Potrebno množino reaktantov na časovno enoto (npr. v kg/h) dobimo na osnovi snovne bilance in jo nato pomnožimo s številom letnih obratovalnih ur, da dobimo letno porabo reaktantov. Le-to pomnožimo s ceno reaktanta, ki jo je najbolje dobiti neposredno od dobavitelja. Pri zgodnjem ocenjevanju projekta poiščemo cene v literaturi, npr. Chemical Marketing Reporter, ki izhaja v ZDA. Te cene lahko pretvorimo v lokalno valuto, da dobimo vsaj približno orientacijo o ceni izdelka v drugih državah. Pomemben vpliv na ceno ima velikost embalaže, v katero je pakirana surovina in stroški prevoza.

Podjetja pogosto izračunavajo porabo reaktantov na enoto produkta, npr. v kg reaktanta na kg produkta (unit ratio). V kemijskih obratih predstavljajo stroški surovin 10 do 50 % celotnih stroškov.

Zanimiv primer predstavljajo stroški za nakup katalizatorja. Če je cena katalizatorja visoka (npr. več kot 10.000 €) in predvidevajo, da bo katalizator v uporabi več let, ga pogosto vključijo med osnovna sredstva in ga tudi amortizirajo. Če morajo katalizator menjavati v krajših časovnih intervalih (npr. vsaki 2 leti ali manj), ga obravnavajo kot navaden obratovalni strošek.

Naloga 7.1. V farmacevtskem obratu bo potekal postopek hidrogeniranja za proizvodnjo aktivne substance. Predvidena poraba vodika je 0,875 kg/h. Postopek bo potekal 250 dni na leto v dveh osemurnih izmenah. Vodik bo dobavljen na lokacijo v 50 l cilindričnih jeklenkah pod tlakom 200 bar. Koliko jeklenk bo potrebnih v enem letu?
Izračunajte letni strošek vodika, če je cena za komprimirani vodik v jeklenkah 0,8 USD/Nm^3.
Izrazite ceno vodika še glede na njegovo kurilno vrednost, ki znaša 285 kJ/mol.

Cene osnovnih kemikalij so reda velikosti do 1 USD/kg oz. 0,8 €/kg. Nekatere od njih so zelo občutljive na tržne in politične razmere, zato lahko precej nihajo. Zraven tega igrajo pomembno vlogo pri oblikovanju cen posebne pogodbe med dobavitelji in kupci, zato je včasih za preliminarne raziskave težko dobiti realno ceno. Posebej problematične so specialne kemikalije biokemijske industrije, katerih cene lahko imajo razpon od nekaj €/kg pa vse do nekaj milijonov

€/kg (npr. inzulin, tPA – tkivni aktivator plasminogena). Tabela 7.1. podaja orientacijske cene za nekatere kemikalije, ki jih lahko študentje uporabijo pri svojih projektih, če ni na voljo bolj točnih ocen. To je sicer groba a realistična ocena dejanskega stanja. Vse cene veljajo za večje količine brez posebne embalaže (angl. bulk chemicals) in za standardno industrijsko čistočo produkta (okoli 95 %).

Tabela 7.1. Cene nekaterih kemikalij (Vir: http://ed.icheme.org/costchem.html)

	€/t		€/t
Surova nafta	91,9	Etil metil keton	552
Mazut	63,2	Metil izobutil keton	609
Predelana nafta	132	Metil metakrilat	1149
Ocetna kislina	643	Metilstiren	862
Aceton	276	Dušikova kislina 60 %	69
Akrilna kislina	1034	Nitrobenzen	552
Akrilonitril	689	Paraformaldehid	632
Amoniak	195	Fenol	632
Anilin	862	Fosforna kislina 85 %	747
Antracen	1264	Anhidrid ftalne kisline	1000
Benzen	264	Kalijev hidroksid 50 %	207
Butadien	299	n-propanol	684
n-butilacetat	690	n-propil acetat	799
n-butilglikol	580	Propilen	483
Kalcijev karbonat	207	Propilen oksid	1103
Kalcijev hidroksid (apno)	126	Silikagel	2300
Kalcijev oksid	69	Natrijev bikarbonat	258
Klor	149	Natrijev karbonat	207
Citronska kislina	1034	Natrijev klorid (vakumsko sušen)	86
Kumen	2068	Natrijev hidroksid (s)	241
Diklorobenzen	1149	Natrijev hidroksid (aq 50 %)	69
Etanol	770	Natrijev metabisulfit	402
Etilacetat	563	Natrijev sulfat	92
Etilbenzen	448	Natrijev sulfit	690
Etilen	345	Stiren	1724
Etilen glikol	632	Sulfamidna kislina	690
Etilenoksid	977	Žveplo	52
Formaldehid (g)	345	Žveplova kislina 98 %	63
Formaldehid (aq 35%)	184	Žveplova kislina 96 %	46
Klorovodikova kislina 36 %	144	Toluen	201
Vodikov cianid	1034	Vinilacetat	724
Vodikov peroksid 50 %	586	Vinilklorid	310
Izopropanol	437	Ksilen (zmes)	207
Izopropil acetat	540	o-ksilen	781
Metanol	155	p-ksilen	1494

Plini	€/100 m^3	Nespecificirani materiali	€/t
Vodik	23	Bazne kemikalije	115
Dušik	11,5	Običajne kemikalije ali intermediati	345
Kisik	11,5	Monomeri ali manj običajni intermediati	1034
Argon	28,7	Specialne kemikalije, končni produkti	2068
Helij	80,4		

7.4. Stroški pogonskih sredstev

V to skupino štejemo stroške za električno energijo, paro, komprimiran zrak, hladilno in procesno vodo itd. Poraba pogonskih sredstev in s tem pripadajoči stroški se spreminjajo z obsegom proizvodnje, vendar ne nujno sorazmerno. Potrebne količine določimo na osnovi snovnih in energijskih bilanc. Porabo pare povečamo za 10 % zaradi ogrevanja prostorov, ravno tako povečamo tudi porabo električne energije zaradi razsvetljave in klimatizacije. Značilne porabe pogonskih sredstev prikazuje tabela 7.2.

Tabela 7.2. Značilne porabe pogonskih sredstev

	Energijsko intenzivni procesi	Normalni procesi
električna energija (kWh/kg produkta)	2,2	0,22
para (kg/kg produkta)	10	2,0
hladilna voda (l/kg produkta)	334	42

V kemijskih obratih predstavljajo stroški pogonskih sredstev 10 do 20 % celotnih stroškov. Podjetja vodijo evidence o ceni različnih pogonskih sredstev, saj se le-te pogosto spreminjajo zaradi različnih dejavnikov, npr. zaradi inflacije, geografske lege, vpliva OPEC, potencialnih novih virov energije itd. Zato je potrebno nenehno spremljati aktualne cene, da jih lahko pri ocenjevanju projekta projiciramo za nekaj let vnaprej. Okvirne cene pogonskih sredstev so prikazane v tabeli 7.3.

Tabela 7.3. Cene nekaterih pogonskih sredstev (Vir: http://ed.icheme.org/costutil.html)

Voda iz omrežja	0,57 €/ m^3
Hladilna voda	0,029 €/ m^3
Demineralizirana voda	1,15 €/ m^3
Para (11 bar)	7,5 €/t
Para (30 bar)	10,4 €/t
Komprimiran zrak	0,011 €/m^3
Dušik	0,114 €/m^3
Električna energija	0,057 €/kWh
Naravni plin	0,009 €/kWh
Mazut	0,009 €/kWh
Hlajenje s hladivi	0,034 €/kWh

Naloga 7.2. Proces bo proizvajal 50 milijonov kg produkta letno. Ocenjena naložba znaša 20 mio € (M&S=750). Izračunali smo, da bomo v procesu porabili 5 kg pare na kg produkta. Ceno pare ocenjujemo na 1,6 €/100 kg. Časovni delež obratovanja je 0,9 (330 dni/a). Izračunajte:

a) letno porabo pare, letne stroške za paro in stroške pare na enoto produkta.
b) kolikšen delež osnovne investicije bi predstavljala investicija v obrat pare z zahtevano kapaciteto (priloga 11).

Naloga 7.3. S simulatorjem smo izračunali potrebno moč grelnika 2800 kW. Za gretje bomo uporabili paro s tlakom 5,7 bar in temperaturo 157 °C. Cena pare je 8,3 EUR/t. Izračunajte letni strošek pare, če je njena izparilna toplota 2090 kJ/kg in proces obratuje neprekinjeno 8000 h/a. Izrazite ceno pare še v EUR/(kWa).

Naloga 7.4. Moč kompresorja je 1,5 MW in obratuje 6000 h/a. Izračunajte letno porabo in letni strošek električne energije, če je njena cena 0,0625 EUR/kWh.

7.5. Stroški dela

Kemijski obrati običajno obratujejo 24 ur na dan, 7 dni na teden. Delo je ponavadi organizirano v treh izmenah, pri čemer je število delavcev v dnevni izmeni nekoliko večje zaradi različnih vzrokov, npr. vzdrževanja. Značilna dela v proizvodnji kemijskega obrata so naslednja:

- Nadzor procesa v nadzorni sobi (vodenje dnevnika obratovanja, spremljanje obratovalnih parametrov, vzdrževanje instrumentov, nadzor računalniško vodenih operacij).
- Neposredni nadzor procesa, obhodi.
- Odvzemanje vzorcev, enostavne analize (npr. titracije).
- Rutinsko vzdrževanje (menjava tesnil, čiščenje toplotnih prenosnikov, menjava filtrirnega papirja).
- Šaržne operacije in druge dejavnosti, ki niso vodene avtomatsko.
- Nakladanje, razkladanje in prenašanje surovin, vmesnih in končnih produktov.
- Pakiranje in skladiščenje.
- Čiščenje procesnih enot, enostavna nujna popravila.
- Usposabljanja, varnostni tečaji.

Stroški dela so odvisni od obsega proizvodnje, vendar ne sorazmerno. Ponavadi ostane število zaposlenih nespremenjeno, tudi če obseg proizvodnje nekoliko niha. V šaržnih procesih se potrebno število delavcev spreminja s časom, tako da se nekateri delavci selijo med različnimi proizvodnimi linijami. V manjših obratih je praviloma potrebnih več oseb za vsako procesno operacijo, ker so manj avtomatizirani. Npr. v majhnem bio-obratu bodo potrebne 2-3 osebe za fermentor, medtem ko lahko v velikem avtomatiziranem obratu ena oseba nadzoruje več fermentorjev iz kontrolne sobe. V splošnem velja, da je v povprečnem šaržnem obratu potrebna ena oseba za vodenje vsake procesne operacije. Ob zagonu je ponavadi potrebno več oseb.

Da bi lahko določili stroške dela, moramo najprej vedeti, koliko ljudi bo potrebnih v izmeni za vodenje procesa, t.j. število proizvodnih delavcev (operating labor). Pri tem lahko uporabimo naslednje metode:

a) Ocene na osnovi analogije

Pri predhodnem ocenjevanju najpogosteje določijo potrebno število zaposlenih v obratu na osnovi analogije s podobnimi obrati, pri čemer je potrebno upoštevati naslednje:

- Moderni avtomatizirani obrati težijo k minimalnemu številu delavcev, ki ga določa varno in zanesljivo obratovanje.
- Avtomatiziran nadzor zmanjšuje število potrebnih ljudi.
- Računalniški nadzor (ki ni neposredno povezan z avtomatskim nadzorom) v splošnem ne zmanjšuje števila potrebnih ljudi, ampak vpliva na izboljšanje kvalitete produkta in varnosti obratovanja.

Potrebno število za izvajanje in nadzor različnih procesnih operacij najdemo v literaturi (priloga 12).

b) Pravilo povečevanja (ali zmanjševanja)

Velikost (kapaciteta) obrata vpliva na skupno število delavcev, ki so potrebni za vodenje procesa. Povezava med kapaciteto in številom delavcev je podobna pravilu šestih desetin, le da je tukaj eksponent enak 0,25:

$$\frac{N_\mathrm{B}}{N_\mathrm{A}} = \left(\frac{p_\mathrm{B}}{p_\mathrm{A}}\right)^{0,25} \tag{7.1}$$

kjer N pomeni število zaposlenih v izmeni, p pa kapaciteto dveh obratov A in B, ki proizvajata podobni produkt v različnih količinah.

c) Wessel-ova korelacija

Če ni na voljo drugih podatkov, lahko za približno oceno uporabimo Wesel-ovo korelacijo, ki grafično prikazuje število potrebnih delovnih ur na tono produkta za vodenje neke skupine

operacij v odvisnosti od kapacitete obrata (priloga 13). Pri tem dobimo najrealnejšo oceno, če razdelimo obrat v štiri skupine operacij (bloke): priprava reaktantov, reakcija, ločevanje produktov in obdelava produktov.

Ko je število zaposlenih v izmeni znano, dobimo skupno število proizvodnih delavcev z naslednjim izrazom:

$$\text{skupno število proizvodnih delavcev} = 4 \times \text{število zaposlenih v izmeni} \qquad (7.2)$$

Ta izraz predpostavlja 95 % časovni delež obratovanja, kar je značilna vrednost za kemijsko procesno industrijo. Pri tem je število delovnih ur delavca v eni izmeni ocenjeno na 2080 (48 tednov × 40 ur/teden + 160 nadur). Skupno število ur za štiri delavce je 4 × 2080 = 8320, kar je 95 % od celotnega števila ur v letu, ki je 8760. Nekateri avtorji priporočajo v enačbi (7.2) petkratnik namesto štirikratnik.

Ko ocenimo potrebno število proizvodnih delavcev, ocenimo še povprečno ceno delovne ure, da lahko izračunamo stroške dela. V zahodnih razvitih državah ocenjujejo vrednost delovne ure procesnega delavca na 13 do 15 $, kar znese za enega delavca letno med 25 000 in 28 000 $. To vrednost še povečajo za okoli 22 % zaradi posebnih ugodnosti, ki jih podjetje nudi svojim zaposlenim (npr. plačilo ob odsotnosti zaradi bolezni ali dopusta, organiziranje športnih aktivnosti, letovanj ipd.). V manj razvitih državah so stroški za plače delavcev občutno nižji. Kakšna bi bila ocena za Slovenijo?

Ocenjenim stroškom za plače proizvodnih delavcev moramo dodati še stroške plač neproizvodnih delavcev, t.j. vodstvenega in administrativnega osebja, ki znašajo med 10 in 25 % stroškov plač proizvodnih delavcev, oz. v povprečju 18 %.

Stroški za plače proizvodnih delavcev predstavljajo osnovo za ocenitev nekaterih drugih stroškovnih postavk, kot bomo videli v nadaljevanju.

Naloga 7.5. Nov obrat propilen oksida z letno proizvodnjo 250 000 t bo uporabljal podoben postopek kot obstoječi obrat etilenoksida. Slednji potrebuje pri obsegu proizvodnje 100 000 t/a približno 0,25 delovne ure na tono proizvoda. Koliko proizvodnih delavcev bomo potrebovali v obratu propilen oksida?

Naloga 7.6. Obrat za proizvodnjo sečnine ima 4 skupine (bloke) procesnih operacij: sintezni blok, dekompozicija intermediata, obdelava sečnine in obdelava nezreagiranih reaktantov. Ocenite število proizvodnih delavcev v obratu, ki proizvede 250 000 t/a, če je časovni delež obratovanja 0,95.

7.6. Stroški vzdrževanja

Stroški vzdrževanja so nekoliko odvisni od obsega proizvodnje, zato jih nekateri uvrščajo med stalne stroške. Običajno opravljajo rutinska vzdrževalna dela zaposleni v proizvodnji, medtem ko opravijo zahtevnejša dela posebne vzdrževalne ekipe.

Stroški vzdrževanja so v kemijskih obratih precej visoki. Letni znesek vzdrževanja ocenimo na okoli 6 % začetne vrednosti osnovnih sredstev, pri čemer gre približno polovica za materialne stroške vzdrževanja (npr. rezervni deli, tesnila itd.) in druga polovica za stroške dela.

Večje stroške vzdrževanja lahko pričakujemo v obratih z večjim deležem mehanskih naprav (npr. za obdelavo trdnih snovi), v obratih s korozivnimi snovmi in v obratih, kjer so zaradi zniževanja investicije varčevali in improvizirali pri izgradnji.

7.7. Stroški nadzora kakovosti

Kemijske in fizikalne analize procesnih tokov so izjemno pomembne pri obratovanju kemijskega procesa. Zajemajo spremljanje kakovosti surovin, vmesnih in končnih produktov. Vmesne (ponavadi enostavnejše) analize procesnih tokov pogosto opravljajo sprotno (on-stream), kar ne vpliva znatno na stroške. Pomembnejši vpliv na stroške imajo dražje analize, ki jih izvajajo v kontrolnih laboratorijih, še posebej če ti niso v sklopu podjetja. Letne stroške laboratorijskih analiz in nadzora kakovosti ocenimo na 10 % do 20 % letnih stroškov za plače proizvodnih delavcev.

7.8. Stroški obdelave odpadkov

Ti stroški zajemajo obdelavo odpadnih vod ter odlaganje trdnih in strupenih odpadkov. Za ocenitev te postavke ni splošnega navodila, vendar je v literaturi kar nekaj koristnih podatkov, s katerimi lahko okvirno ocenimo stroške za obdelavo odpadkov.

Odpadne pline ponavadi sežgejo v posebnih pečeh in na osnovi sežignih entalpij komponent pridobijo nekaj toplote. Ponavadi vodijo odpadni plin v peč skupaj z običajnim gorivom in zrakom, zato mora biti količina odpadnega plina dovolj majhna, da ne moti osnovnega procesa gorenja. Če je delež inertnih plinov (N_2, CO_2, H_2O) prevelik, lahko pride celo do izgube toplote. Kisle pline (SO_2, H_2S, Cl_2, HCl) odstranjujejo v vodnih pralnikih (scrubber).

Količino in sestavo odpadnih vod dobimo iz snovnih bilanc. Te količine nato množimo s ceno obdelave na enoto. Čistilne naprave za tekoče odplake si ponavadi deli več uporabnikov. Zajemajo naprave za primarno obdelavo vod (usedanje, filtriranje), sekundarno obdelavo (biooksidacija) in terciarno obdelavo (kemijska obdelava, adsorpcija). Cena obdelave odpadne vode z BPK pod 1000 mg/L v čistilni napravi je okoli 0,2 do 0,5 $\$/m^3$. Nekatere odpadne tekočine tudi sežgejo, npr. odpadne vode, ki vsebujejo fenol.

Trdne odpadke lahko sežgejo (incinerator), če produkti gorenja niso strupeni. Nekatere odpadke (tekoče in trdne) v posebnih posodah zakopljejo, kar pa je v razvitih državah zelo drago. Tako lahko odlaganje strupenih odpadkov (npr.topil) stane od 2 do 20 $/kg, kar pogosto presega nakupno ceno iste kemikalije.

7.9. Stroški zaščitne opreme in drobnega inventarja

Letni stroški zaščitnih oblačil ter zaščitne in druge opreme (razna orodja, respiratorji, filtri itd.) znašajo 10 % letnih stroškov za plače proizvodnih delavcev.

7.10. Stroški potrošnega materiala

V to skupino štejemo stoške, ki nastanejo zaradi obrabe ali izrabe različnih materialov med obratovanjem, ki jih je zato potrebno periodično menjavati, npr. razni filtri, membrane, aktivno oglje, kromatografska polnila ipd.

7.11. Stalni stroški

Predstavljajo tiste postavke obratovalnih stroškov, ki ostajajo konstantne ne glede na obseg proizvodnje.

Eden takšnih je amortizacija, ki smo jo obširno obravnavali v prejšnjem poglavju. Amortizacijo je treba upoštevati celo, če obrat sploh ne obratuje. Pri zgodnjem ocenjevanju projekta izračunavamo letne zneske amortizacije z uporabo metode enakomernega amortiziranja preko desetih let in z ničelno preostalo vrednostjo.

Naslednji stalni strošek je zavarovalna premija. Le-ta je odvisna od vzdrževanja obrata in ravni varnosti v obratu. Običajno dosega letni znesek zavarovalne premije 0,5 % do 1 % začetne vrednosti osnovnih sredstev, vendar pa je lahko bistveno višji, če se v obratu pojavljajo vnetljive, strupene in eksplozivne snovi.

Stalni strošek so tudi dajatve državi in občini, npr. različne takse, prispevki in davki, ki niso odvisni od poslovnega izida. Tukaj ni mišljen davek na dobiček, saj ta ne šteje med obratovalne stroške. Omenjeno postavko ocenjujemo na 2 % začetne vrednosti osnovnih sredstev.

Ocenimo še skupino splošnih stroškov, ki niso neposredno povezani s proizvodnim procesom, vendar so pomembni za nemoteno obratovanje, npr. stroški za gasilsko ekipo, reševalno ekipo, prehrano, administracijo, planiranje itd. Ocena teh stroškov znaša 5 % začetne vrednosti osnovnih sredstev.

Če podjetje uporablja proces ali del procesa, ki je zaščiten s patentom in le-ta ne pripada podjetju, mora zato plačevati določeno odškodnino. Plačilo licenc redko presega 5 % obratovalnih stroškov, običajna vrednost je okoli 2 %. Večja podjetja se izogibajo uporabi zaščitenih procesov, bolj pogosta je uporaba patentiranih procesnih enot in njihovih določenih delov.

Tudi obresti od izposojenih sredstev predstavljajo stalni strošek, zato jih uvrstimo med obratovalne stroške v zneskih, ki izhajajo iz načrta kreditiranja.

7.12. Stroški embalaže

Vsi stroški, ki smo jih omenili do sedaj, predstavljajo obratovalne stroške za produkte brez embalaže in dejansko se veliko kemijskih izdelkov prodaja brez embalaže, t.j. v tovornjakih (cisternah), železniških cisternah ali ladjah. V takem primeru vključimo naprave za natovarjanje med osnovna sredstva, obratovalne stroške natovarjanja pa med ostale obratovalne stroške.

Če pakiramo izdelek v manjšo embalažo, lahko cena posode bistveno vpliva na končno prodajno ceno. Npr. topilo za kemično čiščenje dobavljajo v 208 l (55 gal) posodah iz jekla. Cena topila je 0,66 $/l, kar pomeni, da je cena vsebine posode 0,66 × 208 = 137 $. Sama posoda stane 25 $ in to zviša prodajno ceno topila na 162 $, kar je za 18 % več od osnovne cene topila. Z zmanjševanjem prostornine se cena embalaže povečuje in lahko postane celo dominantna v prodajni ceni produkta.

7.13. Metoda za hitro ocenitev obratovalnih stroškov

Vse naštete postavke lahko združimo v metodo za hitro ocenitev obratovalnih stroškov:

1 *Surovine*
2 *Pogonska sredstva*

3 *Postavke, ki jih ocenjujemo na osnovi stroškov za plače proizvodnih delavcev* (*OL*)

Plače proizvodnih delavcev	$1{,}00 \times OL$
Posebne ugodnosti	$0{,}22 \times OL$
Plače vodstvenega in administrativnega osebja	$0{,}18 \times OL$
Zaščitna in druga oprema	$0{,}10 \times OL$
Nadzor kakovosti	$0{,}15 \times OL$
Skupaj	$1{,}65 \times OL$

4 *Postavke, ki jih ocenjujemo na osnovi začetne vrednosti osnovnih sredstev* (I_{OS})

Vzdrževanje	$0{,}06 \times I_{OS}/a$
Amortizacija	$0{,}10 \times I_{OS}/a$
Zavarovanje	$0{,}01 \times I_{OS}/a$
Stroški dajatev državi in občini	$0{,}02 \times I_{OS}/a$
Splošni stroški	$0{,}05 \times I_{OS}/a$
Skupaj	$0{,}24 \times I_{OS}/a$

5 *Patenti, licence, blagovne znamke*
6 *Obdelava odpadkov*
7 *Stroški embalaže*

8. Ekonomski kriteriji (statične metode)

V četrtem in petem poglavju smo spoznali metode za ocenjevanje investicije, ki je povezana z nekim projektom, v šestem in sedmem poglavju pa smo se spoznali s komponentami, ki omogočajo izračun dobička (ali ostanka dobička po odbitju davka). V tem poglavju bomo obe postavki povezali, da bi lahko analizirali njun medsebojni vpliv in odgovorili na vprašanje: Ali je ekonomski kriterij za dani projekt zadovoljen ali ne?

V kemijski procesni industriji najpogosteje uporabljajo ekonomski kriterij, ki se imenuje donosnost (angl. return on investment before taxes or after taxes, ROI_B, ROI_A, včasih tudi samo ROI). Da bi lahko definirali donosnost investicije bomo izračun investicije (kapitala) dopolnili tako, da bomo vrednosti osnovnih sredstev (ocenjevali smo jih v 5. poglavju), dodali še ocenjeno vrednost obratnih sredstev, ki smo jih tudi omenili v istem poglavju. Ocenili bomo druge odhodke, ki jih skupaj z obratovalnimi stroški odštejemo od prihodka, da izračunamo dobiček, kot prikazuje enačba (6.1).

8.1. Ocena celotne investicije

V 5. poglavju smo omenili, da investicijo sestavljajo osnovna in obratna sredstva. Metode za ocenjevanje vrednosti osnovnih sredstev smo podrobno opisali, medtem ko smo za obratna sredstva opredelili samo njihove glavne značilnosti. Vendar je celotna investicija vsota osnovnih in obratnih sredstev, $I_{cel} = I_{os} + I_{obr}$, zato bomo na tem mestu nekoliko podrobneje opisali obratna sredstva in podali ocene njihovih vrednosti.

8.1.1. Obratna sredstva

Obratna sredstva smo definirali kot investicijo v premične in začasne stvari ali v stvari, ki se porabljajo. Predstavljajo denar, ki je za podjetje na nek način vezan, vendar nujen za posel. Obratnih sredstev ne amortiziramo, ker se njihova vrednost vsaj v principu povrne.

a) ***Zaloge rezervnih delov*** ocenimo na 2 % začetne vrednosti osnovnih sredstev. Ta postavka nima zveze z obratovalnimi stroški vzdrževanja, ker predstavlja vezana sredstva, ki so na razpolago, da jih uporabimo.

b) ***Zaloge surovin*** ocenimo na vrednost enomesečne porabe surovin, pri čemer uporabimo nabavno (FOB) ceno. Obdobje, ki ga izberemo za oceno, je odvisno od velikosti pošiljke, zanesljivosti dobavitelja, skladiščnih zmogljivosti in sezonskih nihanj (predvsem pri prehrambenih in drugih naravnih izdelkih).

c) ***Zaloge gotovih izdelkov*** ocenimo na vrednost enomesečne proizvodnje, pri čemer uporabimo za ceno enote proizvoda ustrezne obratovalne stroške.

d) ***Zaloge snovi v procesu*** predstavljajo kapital, ki je v vsakem trenutku vezan v različnih snoveh v procesu. Količina teh snovi je odvisna od zadrževalnega časa, θ, ki ga lahko razumemo kot vsoto individualnih zadrževalnih časov različnih procesnih tokov (reaktantov, intermediatov in produktov) v različnih procesnih enotah. Zaloga snovi v procesu je potem produkt θ in obsega proizvodnje, p. Vrednost za enoto snovi v procesu pa ocenimo na srednjo vrednost med ceno surovin in obratovalnih stroškov:

$$I_{\text{obr,in}} = \frac{1}{2}\,\theta\, p\left[\sum\left(w_k c_k\right) + \bar{c}_{\text{obr}}\right] \tag{8.1}$$

kjer je:

θ zadrževalni čas, a
p obseg proizvodnje, kg/a
w_k masa reaktanta k na enoto mase produkta
c_k cena reaktanta k, €/kg
$\bar{c}_{\text{obr}}$ obratovalni stroški na enoto produkta, €/a

Obratna sredstva za zaloge surovin v procesu so običajno tako majhna v primerjavi s preostalimi obratnimi sredstvi, da jih velikokrat zanemarimo, izjema so procesi z dolgimi zadrževalnimi časi (npr. fermentacija).

e) ***Denar na žiro računu in terjatve do kupcev***
Podjetje mora imeti vedno pripravljene nekaj gotovine za poravnavanje sprotnih obveznosti, kot so npr. izplačila plač, plačila računov ipd. Terjatve do kupcev predstavljajo denar, ki je vezan v obliki kratkoročnih kreditov kupcem. Ta denar bi podjetje lahko uporabilo za druge investicije, vendar ni dostopen in tudi ne ustvarja nobenih obresti, zato ga uvrščamo med obratna sredstva.

Prve štiri kategorije obratnih sredstev (točke a, b, c in d) lahko pri zgodnjem ocenjevanju skupaj ocenimo na 12 % vrednosti osnovnih sredstev, medtem ko zadnjo postavko (točka e) ocenjujemo na 10 % vrednosti letne prodaje.

Naloga 8.1: Načrtujemo obrat, v katerem bi pridobivali etanol s fermentiranjem biomase. Letna proizvodnja etanola bi bila 40 000 t; ocenjujemo, da bi etanol lahko prodali po ceni 0,62 €/kg. Ocenjena naložba v osnovna sredstva je 30 mio €, predvideni letni obratovalni stroški z vključeno amortizacijo so 20 mio €. Za proizvodnjo 1 kg etanola je potrebno 4 kg biomase, katere cena je 60 €/t. Zadrževalni čas v fermentatorju je 14 dni in v vseh ostalih procesnih enotah skupno 6 h. Zaloga biomase naj zadošča za dvotedensko proizvodnjo. Ocenite obratna sredstva. Časovni delež obratovanja je 0,9.

8.2. Ocena skupnih odhodkov

V šestem poglavju smo dobiček izračunali z naslednjo enačbo:

$$P_B = R - c_{obr} - c_{dr} \tag{6.1}$$

kjer c_{obr} in c_{dr} skupaj pomenita vsoto vseh odhodkov, s katerimi je povezan dani projekt. Kako izračunavamo obratovalne stroške (c_{obr}), smo podrobno opisali v šestem in sedmem poglavju; pravila so zbrana v podpoglavju 7.12. Preostale odhodke (c_{dr}) lahko združimo v tri kategorije in jih ocenimo z uporabo naslednjih pravil:

1. **stroški prodaje**, 7 % vrednosti letne prodaje produkta,
2. **administrativni stroški**, 1,6 % začetne vrednosti osnovnih sredstev na leto,
3. **stroški raziskav**, 4,6 % začetne vrednosti osnovnih sredstev na leto.

K stroškom prodaje štejemo plače zaposlenih v prodajnem in marketinškem sektorju, potne stroške, stroške servisne službe, reklamiranja itd. V povprečju jih ocenjujemo na 7 % letne prodaje, vendar lahko ta vrednost doseže celo do 35 %, če je prodiranje produkta na tržišče težavno.

Administrativni stroški zajemajo plače najvišjega vodstva (npr. direktorja in članov uprave), stroške za stike z javnostjo, stroške različnih lobiranj, štipendiranje itd.

Nazadnje ocenimo še stroške raziskav; uspešen projekt mora pokriti stroške *vseh* raziskav, tudi neuspešnih (v povprečju je med 92 projekti kar 91 nerealiziranih).

8.3. Donosnost investicije

V kemijski procesni industriji je donosnost eden izmed najpogosteje uporabljanih kriterijev za presojanje investicij. Definirana je kot:

$$\mathrm{ROI}_B = \frac{P_B}{I_{cel}} \cdot 100 \tag{8.2}$$

kjer je P_B dobiček (pred obdavčitvijo) in I_{cel} skupna vrednost investicije, t.j. vsota osnovnih in obratnih sredstev. ROI_B se po dogovoru izraža v odstotkih, zato je v enačbi faktor 100. Če natančno preverimo enote, vidimo, da je enota za ROI_B dejansko % / a.

Če uporabimo v enačbi (8.2) ostanek dobička, P_A, dobimo donosnost po obdavčitvi ROI_A:

$$ROI_A = \frac{P_A}{I_{cel}} \cdot 100 \tag{8.3}$$

Enačba (8.2) povezuje dobiček, P_B, ki je rezultat analize prihodkov in odhodkov, ter vrednost investicije, I_{cel}, ki je rezultat investicijske analize. Na ta način smo povezali obe postavki v ekonomski kriterij, ki odgovori na vprašanje: kolikšen odstotek celotne vrednosti investicije bo projekt ustvaril vsako leto v obliki dobička. Ta podatek ima največji pomen za vodstvo, ki sprejema odločitve.

Donosnost (ROI_B) je le eden izmed kriterijev za odločanje o ekonomski uspešnosti projektov, vendar je za inženirje gotovo na prvem mestu kljub nekaterim pomanjkljivostim, kot sta npr.: ne upošteva časovnega spreminjanja vrednosti denarja in predpostavlja nespremenljivo vrednost letnega dobička, P_B. Pozitivna stran metode je njena enostavnost in dejstvo, da je vrednost ROI_B neodvisna od inflacije. Predpostavimo namreč lahko, da ima inflacija enak vpliv na dobiček v imenovalcu in na investicijo v števcu enačbe (8.2) in tako ostaja razmerje med njima konstantno ne glede na to, kako daleč v prihodnost želimo napovedati donosnost projekta.

Naloga 8.2: Za nek projekt je ocenjena vrednost naložbe v osnovna sredstva 2 mio € in v obratna sredstva 0,6 mio €. Investicijo bomo odpisali v petih letih z enakomernim amortiziranjem in ničelno preostalo vrednostjo. Pričakovani donos pred obdavčitvijo je 1 mio €/a. Izračunajte donosnost projekta pred obdavčitvijo.

8.3.1. Sprejemljiva vrednost donosnosti

Katera je tista mejna vrednost ROI_B, za katero lahko rečemo, da je projekt nad njo sprejemljiv, pod njo pa ne? Približna ocena je, da je sprejemljiva vrednost donosnosti (ROI_B) okrog 30 %, vendar je to odvisno tudi od stopnje tveganja. Tabela 8.1 prikazuje najmanjše sprejemljive vrednosti donosnosti za različne procesne industrije, pri čemer je stopnja tveganja izražena kvalitativno kot nizka, srednja ali visoka.

Tabela 8.1. Sprejemljive vrednosti donosnosti (ROI_B)

	ROI_B (%)		
Industrija	Majhno tveganje	Srednje veliko tveganje	Veliko tveganje
proizvodnja kemikalij	11	25	44
naftna	16	25	39
papirna	18	28	40
farmacevtska	24	40	56
kovinska	8	15	24
barvna	21	30	44
fermentacijski produkti	10	30	49

Vrednosti v zgornji tabeli so samo orientacijske. Končna odločitev, ali je projekt sprejemljiv ali ne, je prepuščena presoji vodstva, ki zraven ekonomskih priporočil uporablja tudi veliko mero intuicije. Ocena stopnje tveganja je prav tako v veliki meri subjektivna. Tveganje je odvisno od več dejavnikov, npr. stabilnosti produkta na tržišču, zastarelosti produkta, konkurence, uspešnosti prodiranja na tržišče ipd. Tako so investicije na področju farmacevtske industrije zelo tvegane zaradi intenzivnega razvoja in močne konkurence, od tod tudi visoke vrednosti v tabeli 8.1.

Na donosnost, ki je še sprejemljiva za investitorje, močno vpliva dostopnost kapitala za nove investicije. Če je cena sposojenega denarja, t.j. aktualna obrestna mera, visoka, morajo projekti izkazovati višje donosnosti (celo preko 50 %). Če bi morali za posojilo plačati npr. 15 % obresti, je ta denar nesmiselno vlagati v projekt z 10 % donosnostjo. Ali če imamo na voljo lastna sredstva, jih je bolje nekomu posoditi po 15 % obrestni meri, kot pa jih vložiti v projekt z 10 % donosnostjo. Seveda pa je pri bančni obrestni meri potrebno ugotoviti, kolikšna je realna obrestna mera (pri visoki inflaciji je lahko veliko manjša od nominalne!).

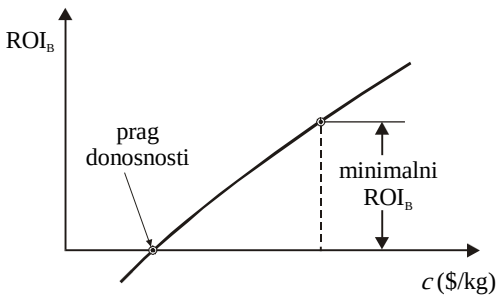
Velja omeniti, da so tipične vrednosti donosnosti (ROI_B) v kemijski industriji nekoliko nižje od priporočenih v tabeli 8.1 in znašajo ponavadi med 9 in 14 %.

Naloga 8.3: Načrtujemo obrat s kapaciteto 50 000 t/a produkta, ki ima prodajno ceno 0,8 €/kg. Investicija v osnovna sredstva je ocenjena na 31 mio €, povprečni obratovalni stroški z vključeno amortizacijo pa na 0,4 €/kg. Ocenite donosnost projekta pred obdavčitvijo.

8.3.2. Določanje prodajne cene

Kriterij donosnosti uporabljajo v kemijski industriji najpogosteje za določanje prodajnih cen proizvodov. Prodajna cena mora biti izbrana tako, da zadovolji minimalni predpisani donosnosti ali kateremu drugemu kriteriju. Če na ta način določena prodajna cena presega aktualne cene izdelkov na tržišču in je nikakor ni mogoče znižati, je projekt nesprejemljiv.

Običajno naredimo izračune donosnosti za vrsto različnih prodajnih cen, da določimo tisto najmanjšo ceno, s katero še zadostimo kriteriju donosnosti. Tako ugotavljamo občutljivost ekonomskega kriterija na spremembo prodajne cene. Rezultate analize občutljivosti (sensitivity analysis) narišemo na grafu (slika 8.1), kjer lahko določimo tudi ***prag donosnosti***, t.j. tisto prodajno ceno, pri kateri so prihodki enaki odhodkom (break-even point).



Slika 8.1. Odvisnost donosnosti od cene

Naloga 8.4: Tržna raziskava je pokazala, da bi lahko prodali $8 \cdot 10^6$ kg nove kemikalije na leto po ceni 0,4 €/kg. Celotno investicijo ocenjujemo na $2 \cdot 10^6$ €. Obratovalni stroški z vključeno amortizacijo so ocenjeni na 0,22 €/kg, drugi odhodki pa na 0,08 €/kg. Izračunajte donosnost pri dani ceni produkta. Izračunajte ceno, ki predstavlja prag donosnosti.

8.3.3. Vpliv obsega proizvodnje na donosnost

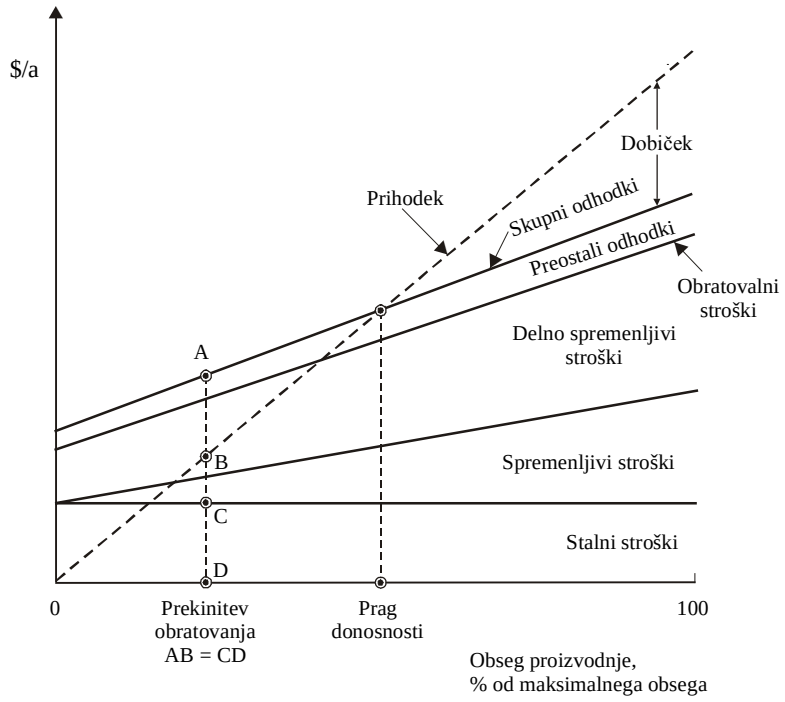
Denimo, da smo določili optimalno prodajno ceno za največji obseg proizvodnje, t.j za kapaciteto obrata. V nadaljevanju nas bo zanimalo, kako se spreminja donosnost, če se obseg proizvodnje zmanjšuje, kajti ni realno pričakovati, da bi obrat ves čas deloval pri svoji največji kapaciteti. V ta namen uporabljamo krivulje, ki prikazujejo odvisnost različnih denarnih tokov (prihodkov, odhodkov ipd. v denarni enoti na časovno enoto) od obsega proizvodnje. Slednji je izražen kot delež maksimalnega obsega proizvodnje (slika 8.2). Tri sestavne skupine obratovalnih stroškov, ki jih pri tem izračunamo in narišemo v graf, so:

- stalni stroški, ki se ne spreminjajo z obsegom proizvodnje,
- spremenljivi stroški, ki naraščajo sorazmerno z obsegom proizvodnje,
- delno spremenljivi stroški, ki so nekoliko odvisni od obsega proizvodnje. Zanje velja naslednje pravilo: pri ničelni proizvodnji znašajo približno 30 % delno spremenljivih stroškov pri maksimalni proizvodnji.

Na grafu 8.2. najprej narišemo izračunane stalne stroške, ki so predstavljeni z vodoravno črto. Temu dodamo spremenljive stroške, ki jih izračunamo pri 100 % obsegu proizvodnje. Iz te točke potegnemo premico v točko ničelne proizvodnje tako, da se stika s premico stalnih stroškov. Delno spremenljive stroške izračunamo za 100 % obseg proizvodnje in jih ocenimo na 30 % te vrednosti v točki ničelne proizvodnje ter obe točki povežemo. Potem dodamo še preostale odhodke, ki jih izračunamo pri 100 % in ničelnem obsegu proizvodnje in tako dobimo premico skupnih odhodkov.

Nazadnje izračunamo letni prihodek od prodaje pri največji kapaciteti obrata in narišemo premico iz te točke v koordinatno izhodišče (črtkana črta). Iz dobljenega diagrama dobimo veliko različnih informacij.

Območje med premico prihodkov in skupnih odhodkov predstavlja dobiček pred obdavčitvijo; to je območje pozitivne donosnosti (ROI_B). Dobiček (in s tem tudi donosnost) pade na vrednost 0, ko se prihodki izenačijo z odhodki. Tudi ta točka se imenuje prag donosnosti, le da se v tem primeru nanaša na obseg proizvodnje, ne pa na prodajno ceno, kot v poglavju 8.3.2.



Slika 8.2. Odvisnost donosnosti od obsega proizvodnje

Zaželeno je, da je obseg proizvodnje, ki predstavlja prag donosnosti, čim nižji (npr. 40 %), ker ima obrat s tem večjo fleksibilnost. Obratuje lahko namreč pri različnih stopnjah obsega proizvodnje, pa je dobiček še vedno pozitiven. Če je prag donosnosti visok, npr. pri 80 %, bo že majhno znižanje obsega proizvodnje privedlo vrednost dobička na nič. Zelo nizke vrednosti praga donosnosti pomenijo, da je prodajna cena produkta precenjena.

Naslednji pomembni podatek, ki ga dobimo iz slike 8.2, je točka D, ki predstavlja obseg proizvodnje, kjer je bolj ekonomično, če prekinemo obratovanje. Območje med premicama prihodkov in skupnih odhodkov pod pragom donosnosti, predstavlja izgubo. Obratovanje je potrebno prekiniti, ko je izguba enaka stalnim stroškom (AB = CD). Nižje od te točke je letna izguba večja od stalnih stroškov.

Naloga 8.5: Za primer v nalogi 8.3 narišite graf vseh prihodkov in odhodkov v odvisnosti od obsega proizvodnje. Obratovalni stroški pri polnem obsegu proizvodnje (50 000 t/a) znašajo 0,4 €/kg in so porazdeljeni tako: stalni stroški 0,164 €/kg, spremenljivi stroški 0,194 €/kg in delno spremenljivi stroški 0,042 €/kg.

a) Določite obseg proizvodnje, ki določa prag donosnosti.
b) Določite obseg proizvodnje, pri katerem je dosežena 25 % donosnost.

8.4. Donosnost investicije pri spremenljivih letnih donosih

Ena od omejitev koncepta donosnosti je predpostavka o stalnih letnih prihodkih in odhodkih. Ta predpostavka je običajna pri zgodnjem načrtovanju in ne pomeni velike napake. V realnosti pa se letni dobiček spreminja iz leta v leto, še posebej če uporabimo katero od neenakomernih metod amortiziranja. Zato podamo naslednjo definicijo donosnosti, ki jo uporabimo v primeru spremenljivih denarnih tokov:

$$\mathrm{ROI_B} = \frac{100\ \tilde{P}_\mathrm{B}}{\tilde{I}_\mathrm{cel}} = \frac{100\left(\tilde{C}_\mathrm{B} - \tilde{D}\right)}{I_\mathrm{os} + \tilde{I}_\mathrm{obr}} \tag{8.4}$$

kjer je:

$\tilde{P}_\mathrm{B}$ povprečni dobiček pred obdavčitvijo (€/a),
$\tilde{I}_\mathrm{cel}$ povprečna vrednost investicije (€),
I_os začetna vrednost osnovnih sredstev, ki je nespremenljiva (€),
$\tilde{I}_\mathrm{obr}$ povprečna vrednost obratnih sredstev (€),
$\tilde{C}_\mathrm{B}$ razlika denarnih tokov v in iz projekta oz. letni donos pred obdavčitvijo (€/a),
$\tilde{D}$ povprečni letni znesek amortizacije (€/a),

Podobno lahko definiramo donosnost po obdavčitvi:

$$\mathrm{ROI_A} = \frac{100\ \tilde{P}_\mathrm{A}}{\tilde{I}_\mathrm{cel}} = \frac{100\left(\tilde{C}_\mathrm{A} - \tilde{D}\right)}{I_\mathrm{os} + \tilde{I}_\mathrm{obr}} \tag{8.5}$$

kjer je P_A ostanek dobička ali čisti dobiček.

8.5. Donosnost povprečne investicije

Donosnost, kot smo jo izračunavali z enačbama (8.4) ali (8.5), izraža, kolikšen del začetne vrednosti investicije se bo podjetju povrnil v obliki letnega dobička. Dejansko vrednost investicije s časom pada, ker se zmanjšuje vrednost osnovnih sredstev. Zato nekateri ekonomisti priporočajo uporabo povprečne vrednosti osnovnih sredstev, ki jo izračunavajo na osnovi povprečne letne neodpisane vrednosti osnovnih sredstev, $\tilde{I}_{\text{os}}$:

$$\tilde{I}_{\text{os}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} U_j}{n} \tag{8.6}$$

kjer je U_j povprečna neodpisana vrednost osnovnih sredstev v letu j:

$$U_j = \frac{V_{j-1} + V_j}{2} \tag{8.7}$$

V_{j-1} je knjižna vrednost osnovnih sredstev na koncu preteklega leta (t.j. na začetku leta j)
V_j je knjižna vrednost osnovnih sredstev na koncu leta j

Donosnost povprečne investicije (ROAI_B) je potem definirana kot:

$$\text{ROAI}_\text{B} = \frac{100\ \tilde{P}_\text{B}}{\tilde{I}_\text{cel}} = \frac{100\left(\tilde{C}_\text{B} - \tilde{D}\right)}{\tilde{I}_\text{os} + \tilde{I}_\text{obr}} \tag{8.8}$$

Podobno bi lahko definirai tudi donosnost povprečne investicije po obdavčitvi (ROAI_A). Povprečna vrednost investicije je odvisna od metode amortiziranja; hitrejše amortiziranje povečuje donosnost. Velja omeniti, da se kriterij donosnosti povprečne investicije ne uporablja pogosto.

Naloga 8.6: Izračunajte donosnost investicije po obdavčitvi, dobo vračanja in donosnost povprečne investicije po obdavčitvi za projekt, ki ga prikazuje tabela. Ocenjena vrednost naložbe v osnovna sredstva je 20 000 d.e. in v obratna sredstva 5 000 d.e. Uporabimo enakomerno amortiziranje preko petih let z ničelno preostalo vrednostjo.

leto	I	C_A	
0	- 25 000		(naložba)
1		6000	
2		8000	
3		10 000	
4		12 000	
5		14 000	

Za vajo izračunajte donosnost povprečne investicije ob uporabi amortizacijske metode s padajočo osnovo.

8.6. Doba vračanja (vračilni rok)

Popularen ekonomski kriterij, ki je zelo enostaven za razumevanje in izračunavanje, je doba vračanja osnovnih sredstev. Definirana je kot obdobje (v letih), v katerem se začetna vrednost osnovnih sredstev, I_{os}, povrne z letnimi denarnimi tokovi po obdavčitvi, C_A. Projekt se ocenjuje na osnovi kriterija, ali je doba vračanja veliko krajša od življenjske dobe projekta. Seveda so zaželjene čim krajše dobe vračanja; 3 do 4 leta je splošno sprejemljivo obdobje za dolgoročne projekte. V primeru, ko so letni denarni tokovi konstantni, izračunamo dobo vračanja z naslednjo enačbo:

$$t_{VR} = \frac{I_{os}}{C_A} \tag{8.9}$$

Če letni denarni tokovi niso konstantni, izračunamo dobo vračanja tako, da od začetne vrednosti osnovnih sredstev odštejemo denarni tok prvega, drugega, tretjega… leta, dokler ne pridemo na vrednost, ki je manjša od denarnega toka naslednjega (t.j. zadnjega) leta. Za zadnje leto izračunamo delež leta, v katerem se pokrije preostali znesek. Npr. če je vrednost osnovnih sredstev I_{os} = 10000 €, denarni tokovi pa si v petih letih sledijo 2000 €, 2600 €, 3500 €, 3600 € in 4100 €, izračunamo dobo vračanja takole:

1. leto 10000 – 2000 = 8000
2. leto 8000 – 2600 = 5400
3. leto 5400 – 3500 = 1900 (< 3600)
4. leto 1900 / 3600 = 0,53 in doba vračanja je t_{VR} = 3,53 a.

Slabost kriterija vračilne dobe je podobno kot pri donosnosti, da ne upošteva časovnega spreminjanja vrednosti denarja (t.j. obrestne mere). Vendar sta oba kriterija zaradi svoje enostavnosti zelo pogosto uporabljana. To velja še posebej za projekte manjšega obsega (npr. različne izboljšave v procesu), pri katerih je doba vračanja kratka (npr. nekaj mesecev) in neupoštevanje obrestne mere ne predstavlja bistvene napake.

Naslednja pomanjkljivost dobe vračanja je, da ignorira denarne tokove, ki nastopijo kasneje, kot je izračunana doba vračanja. Zato ta kriterij spodbuja menedžerje h kratkoročni orientaciji pri odločanju, kar ni nujno v skladu z interesi delničarjev.

Naloga 8.7: Izračunajte dobo vračanja projekta z naslednjimi denarnimi tokovi v poljubnih denarnih enotah: leto 0: -1000, leto 1: -100, leto 2: 200 in tako naprej po vrsti 400, 500, 500, 500, 500, 500, 500.

Naloga 8.8: Za nov projekt so ocenjena osnovna sredstva 3,55 mio € in obratna sredstva 0,51 mio € (konstantna). Vsi gotovinski izdatki znašajo 7,487 mio €. Letni prihodek je 9,77 mio €. Predpostavite amortizacijo s padajočo osnovo, dobo amortiziranja 10 let, ničelno preostalo vrednost in davčno stopnjo 50 %.

a) Izračunajte donose po obdavčitvi za obdobje 10 let (izdelajte tabelo denarnih tokov).
b) Izračunajte donosnost investicije po obdavčitvi, donosnost povprečne investicije po obdavčitvi in dobo vračanja.

Naloga 8.9: Razvijamo projekt za letno proizvodnjo 60 milijonov kg produkta, ki ima tržno ceno 0,4 €/kg. Osnovna sredstva so ocenjena na 15 mio € in obratna na 3 mio €. Obratovalni stroški so ocenjeni sledeče: surovine 0,16 €/kg produkta, pogonska sredstva 0,024 €/kg produkta in stroški za plače 0,02 €/kg produkta. Predpostavite enakomerno amortizacijo, dobo amortiziranja 12 let, ničelno preostalo vrednost in davčno stopnjo 50 %.

a) Ocenite druge odhodke (stroške prodaje, administrativne stroške in stroške raziskav).
b) Izračunajte donosnost investicije pred obdavčitvijo in dobo vračanja.

---

9. Ekonomski kriteriji (dinamične metode)

V prejšnjem poglavju smo združili naložbo (rezultat investicijske analize) in dobiček (rezultat analize prihodkov in odhodkov) v ekonomski kriterij, ki se v praksi pogosto uporablja, t.j. donosnost. Ena izmed slabih strani te metode je, da ne upošteva časovnega spreminjanja vrednosti denarja. Zato se bomo v tem poglavju posvetili metodam, ki tega vidika ne zanemarjajo in ocenjujejo projekte kot investiran denar, ki prinaša določene obresti. Doseženo obrestno mero nato primerjamo s predpisanimi standardnimi vrednostmi. Ključni dejavnik, po katerem se dinamične metode razlikujejo od statičnih, je *obrestna mera* - tega izraza ne srečamo pri statičnih metodah.

Za ocenjevanje projekta z metodami, ki temeljijo na obrestnem računu, moramo natančno definirati različne finančne tokove. Na tej osnovi bomo definirali tri ekonomske kriterije za ocenjevanje uspešnosti projektov: *dobo vračanja z diskontiranimi denarnimi tokovi*, *neto sedanjo vrednost* (NSV) in *interno stopnjo donosnosti* (ISD).

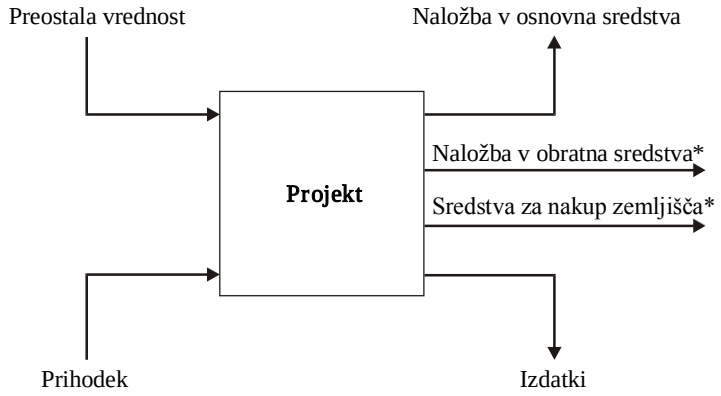
9.1. Analiza denarnih tokov

Iz prejšnjih poglavij že vemo, da so diskretni denarni tokovi povezani z naložbo projekta, zvezni pa s prihodki in odhodki, oz. dobičkom. Kriterij donosnosti dosledno ločuje obe vrsti denarnih tokov, medtem ko se pri dinamičnih metodah združita v analizi vseh denarnih tokov.

Na projekt lahko gledamo kot na sistem (black-box), v katerega pritekajo in iz katerega iztekajo različni denarni tokovi, tako da velja enačba, ki jo uporabljamo tudi za opis snovnih tokov, le da se tukaj nanaša na denarne tokove:

$$\boxed{\text{vtok} - \text{iztok} = \text{akumulacija}}$$

Seveda želimo, da pozitivni denarni tokovi (vtoki) presegajo negativne (iztoke), ker se bo v tem primeru denar akumuliral v sistemu kot dobiček. Slika 9.1 prikazuje denarne tokove projekta. Zvezni denarni tokovi so prihodki in izdatki, diskretni pa vsi ostali, t.j. naložba v osnovna in obratna sredstva ter zemljišče in preostala vrednost ob prekinitvi projekta. Po dogovoru naredimo analizo denarnih tokov po odbitju davka na dobiček, medtem ko donosnost največkrat izračunavamo pred odbitjem davka, t.j. ROI_B.

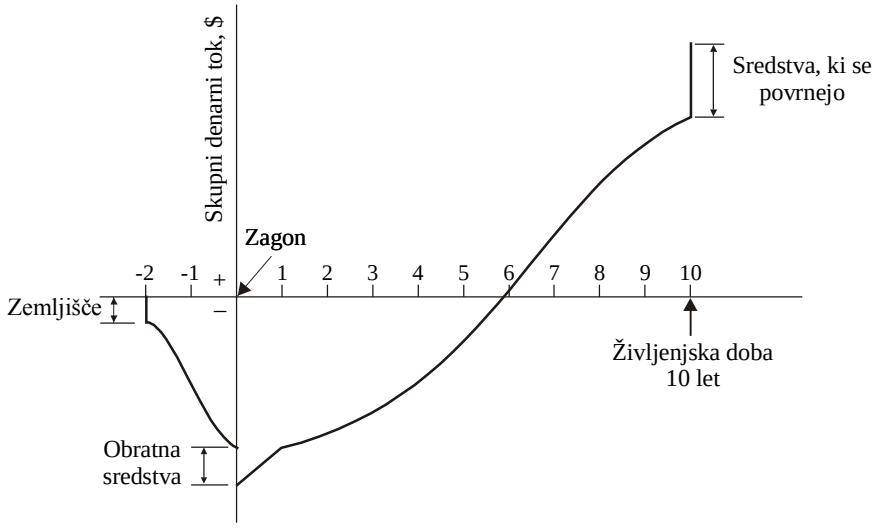


Slika 9.1: Denarni tokovi projekta

Naložba v obratna sredstva in sredstva za nakup zemljišča predstavljajo kapital, ki se ob prekinitvi obratovanja (vsaj teoretično) povrne kot pozitiven denarni tok. Zato so na sliki 9.1. označeni z zvezdico, s čemer poudarjamo njihov dvojni značaj.

9.1.1. Diagrami denarnih tokov

Časovno zaporedje denarnih tokov prikazujemo z diagrami, kot je na sliki 9.2. S takšnimi diagrami prikazujemo skupni denarni tok projekta v odvisnosti od časa. Skupni denarni tok v nekem trenutku je vsota vseh denarnih tokov (po odbitju davka), do katerih je prišlo pred tem trenutkom. Projekt se običajno prične z negativnim stanjem zaradi naložbe. Sčasoma začne ustvarjati prihodke in tako negativni skupni denarni tok postopno prehaja v pozitivnega.



Slika 9.2. Značilni diagram denarnih tokov

Na primeru, ki ga prikazuje slika 9.2., se gradnja obrata prične dve leti pred zagonom. Prvi denarni tok predstavljajo sredstva za nakup zemljišča, tem sledijo osnovna sredstva in tik pred zagonom še obratna sredstva. Zatem se skupni denarni tok usmeri proti pozitivnim vrednostim, ker s prodajo izdelka pričnejo pritekati prihodki. Do tega pa ponavadi ne pride v prvem ali drugem letu obratovanja, ampak kasneje, še posebej če je prodiranje na tržišče težavno. Krivulja ima lahko v letih obratovanja tudi obliko premice, čeprav je pogostejša "S" oblika krivulje, ki je najbolj strma v letih največjega povpraševanja. Do zadnjega porasta skupnega denarnega toka pride ob prekinitvi obratovanja zaradi sredstev, ki se v takšni situaciji povrnejo (preostala vrednost osnovnih sredstev, obratna sredstva, zemljišče).

9.2. Doba vračanja z diskontiranimi denarnimi tokovi

V poglavju 8.6. smo definirali statični ekonomski kriterij – dobo vračanja. Kljub enostavnosti in pogosti uporabi v praksi, je njena glavna pomanjkljivost ta, da ne upošteva obrestne mere. To pomeni, da so zgodnji denarni tokovi po pomembnosti izenačeni s poznimi denarnimi tokovi. Dejansko to ne drži, saj lahko zgodnje denarne tokove prej investiramo v nove projekte in so zato za projekt pomembnejši od poznih.

To pomanjkljivost odpravlja različica dobe vračanja z diskontiranjem, kjer v izračunu uporabljamo diskontirane denarne tokove. Rezultat izračuna je obdobje, v katerem se naložba v osnovna sredstva povrne z diskontiranimi denarnimi tokovi. To obdobje je seveda daljše od obdobja, ki ga izračunamo s klasično definiranim vračilnim rokom brez diskontiranja in je tem daljše, čim večja je uporabljena obrestna mera. Vendar tudi diskontiranje ne odpravi dejstva, da doba vračanja ne upošteva denarnih tokov, ki nastanejo po izteku te dobe.

Kakšno obrestno mero naj uporabimo pri dinamičnih metodah? Na to vprašanje ni univerzalnega odgovora. Običajno jo definira vodstvo podjetja glede na izkušnje s preteklimi projekti in glede na svoj odnos do tveganosti projektov. Imenujemo jo *najnižja sprejemljiva obrestna mera* (ang. MARR – minimum attractive rate of return) ali tudi oportunitetna obrestna mera kapitala. Izbor te vrednosti je izredno pomemben. Previsoka vrednost lahko povzroči, da vodstvo zavrne razmeroma uspešne projekte. Zaradi prenizko postavljene vrednosti lahko izberemo projekte, katerih uspešnost je na meji in lahko vodi v izgubo.

Naloga 9.1: Izračunajte dobo vračanja z diskontiranimi denarnimi tokovi za projekt iz naloge 8.7. Obrestna mera naj bo 15 %.

9.3. Neto sedanja vrednost (čista sedanja vrednost)

Kriterij neto sedanje vrednosti (NSV) se zelo pogosto uporablja pri pripravi investicijskih projektov, še posebej v poznejših fazah razvoja projekta, ko je na voljo dovolj podatkov. Neto sedanjo vrednost izračunamo tako, da *vse* denarne tokove projekta (pozitivne in negativne, zvezne in diskretne) razobrestujemo (diskontiramo) na izbran trenutek "0" (nič) in tako dobljene vrednosti seštejemo. Pri tem uporabimo vnaprej predpisano obrestno mero, ki jo določi vodstvo podjetja. Če je rezultat pozitiven ali enak nič, pomeni, da projekt izpolnjuje ekonomski kriterij pri predpisani obrestni meri. Če obrestno mero povečamo, se NSV zmanjša, saj je pri višji obrestni meri kriteriju težje zadostiti.

Postopek, kako izračunamo NSV, je odvisen od dinamike naložbe; le-ta je namreč lahko porazdeljena na več let. Za najenostavnejši primer, ko je naložba realizirana v enem samem znesku v trenutku 0, donosi pa si nato sledijo po vrsti od 1. leta naprej, velja naslednja enačba:

$$NSV = -I_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{\mathrm{A},i}}{(1+p)^i} \tag{9.1}$$

kjer je:

I_0 naložba (vsota osnovnih in obratnih sredstev), €
$C_{\mathrm{A},i}$ denarni tok po obdavčitvi v letu i, €
p obrestna mera
n izbrano obdobje, a.

V primeru, ko so denarni tokovi v drugem členu enačbe (9.1) konstantni, lahko za izračun njihove sedanje vrednosti uporabimo enačbo (2.39). Pri izračunu ne smemo pozabiti pozitivnih denarnih tokov, ki se povrnejo na koncu izbranega obdobja, kot npr. preostala vrednost (S) in obratna sredstva (I_{OBR}). V tem primeru dobi enačba (9.1) naslednjo obliko:

$$NSV = -I_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{\mathrm{A},i}}{(1+p)^i} + \frac{I_{\mathrm{OBR}}}{(1+p)^n} + \frac{S}{(1+p)^n} \tag{9.2}$$

Rezultat, ki predstavlja NSV projekta, je določen znesek v eurih, dolarjih, tolarjih ali drugi valuti, ki pa v absolutnem smislu ne pove veliko – razen tega ali je pozitiven, negativen ali enak nič. Zato se ob NSV pogosto izračunava indeks, ki več pove o tem, kako uspešno ali neuspešno projekt zadovoljuje postavljenemu ekonomskemu kriteriju. Ta indeks imenujemo *razmerje sedanjih vrednosti* in je definiran kot:

$$\boxed{\text{Razmerje sedanjih vrednosti} = \frac{\text{sedanja vrednost vseh pozitivnih denarnih tokov}}{\text{sedanja vrednost vseh negativnih denarnih tokov}}}$$

Pozitivni denarni tokovi so letni donosi in tisti del naložbe, ki se ob koncu obratovanja povrne (obratna sredstva, zemljišče), negativni denarni tok je celotna investicija. Če je razmerje denarnih tokov enako 1, so donosi, ki jih ustvari projekt, ravno tako veliki, kot če bi investirali denar po predpisani obrestni meri. Če je razmerje manjše od 1, projekt ne izpolnjuje minimalnih pričakovanj in če je večje od 1, jih presega.

Izbira obrestne mere za izračun NSV je stvar politike podjetja. Za srednje tvegane projekte v kemijski procesni industriji je sprejemljiva vrednost 15 %. Enako kot pri določanju sprejemljive donosnosti velja tudi pri neto sedanji vrednosti, da na izbor obrestne mere močno vpliva cena kapitala, t.j. obresti na posojila.

Kriterij neto sedanje vrednosti velja v ekonomski teoriji za najbolj korektnega v konceptualnem smislu. Njegove glavne prednosti so tri:

1. uporablja denarne tokove, kar je z vidika investiranja edino korektno. Dobiček pred obdavčitvijo npr. je primeren za računovodje, ne pa za investicijsko odločanje, saj ne predstavlja denarnega toka;
2. uporablja vse denarne tokove, medtem ko nekateri drugi pristopi, npr. doba vračanja, ignorirajo denarne tokove po določenem trenutku;
3. uporablja diskontirane denarne tokove in s tem upošteva časovno odvisnost vrednosti denarja.

Naloga 9.2: Izračunajte neto sedanjo vrednost in dobo vračanja z diskontiranimi denarnimi tokovi za projekt iz naloge 8.6. Uporabite 10 % obrestno mero.

Naloga 9.3: Ta primer prikazuje prednosti kriterija NSV glede na kriterij dobe vračanja. V tabeli so podani denarni tokovi treh projektov.

Leto	A	B	C
0 (naložba)	100	100	100
1	20	50	50
2	30	30	30
3	50	20	20
4	60	60	600

- Primerjajte neto sedanji vrednosti projektov A in B (uporabite 10 % obrestno mero). Zakaj je NSV projekta B višja od NSV projekta A? Kakšni sta dobi vračanja projektov A in B?
- Primerjajte projekta B in C, ki imata prva tri leta enake denarne tokove, s kriterijem dobe vračanja. Kakšna je NSV projekta C glede na projekt B?

Primerjava projektov A in B kaže na pomanjkljivost dobe vračanja glede neupoštevanja časovne odvisnosti vrednosti denarja. Primerjava projektov B in C ilustrira slabost dobe vračanja zaradi neupoštevanja denarnih tokov po izteku te dobe.

9.4. Interna stopnja donosnosti (notranja stopnja donosa)

Interna stopnja donosnosti (ISD) je naslednji kriterij, ki ga pogosto uporabljajo za ocenjevanje uspešnosti projektov. Metoda je podobna metodi NSV, le da ne računamo, kolikšna je NSV pri predpisani obrestni meri, ampak iščemo tisto obrestno mero, pri kateri bo NSV enaka nič:

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{\mathrm{A},i}}{(1+p^*)^i} + \frac{I_{\mathrm{OBR}}}{(1+p^*)^n} + \frac{S}{(1+p^*)^n} \tag{9.3}$$

Neznanka v zgornji enačbi je torej obrestna mera oz. diskontna stopnja, p^*, pri kateri se diskontirani pozitivni denarni tokovi izenačijo z diskontiranimi negativnimi denarnimi tokovi.

To obrestno mero imenujemo interna stopnja donosnosti. Za reševanje moramo uporabiti iterativne metode, ker rešitve izraza za vsoto diskontiranih denarnih tokov ne moremo izraziti eksplicitno.

Izračunano ISD primerjamo z najnižjo sprejemljivo obrestno mero (p_{MARR}). Projekt sprejmemo, če je njegova ISD višja od MARR:

$$p^* \geq p_{\mathrm{MARR}} \tag{9.4}$$

Investiranje v projekt lahko primerjamo s pologom denarja na banko. Projekt bomo sprejeli, če je ISD projekta višja od obrestne mere za pologe na banki. Če je ISD projekta nižja od obrestne mere pologov, je bolje, da ne investiramo v ta projekt.

Naloga 9.4: Podjetje XYZ namerava kupiti nov stroj za mletje. Nabavna cena tega stroja je 60 000 € in letni gotovinski izdatki so 2670 €. Pričakujejo, da bodo imeli vsako leto 16 000 € prihodka. Ocenjena življenjska doba stroja je 7 let, preostala vrednost je 0, davčna stopnja 25 %. Izračunajte neto sedanjo vrednost naložbe v ta stroj za 8 %, 10 % in 12 % obrestno mero. Določite interno stopnjo donosnosti.

Naloga 9.5: Načrtujemo, da bi postavili obrat za proizvodnjo novega izdelka. Investicija je ocenjena na 12,5 mio €; predvidena je naslednja časovna razdelitev:

leto 0	1,0 mio €	(načrtovanje)
leto 1	5,0 mio €	(gradnja)
leto 2	5,0 mio €	(gradnja)
leto 3	1,5 mio v	(obratna sredstva)

Zagon obrata bo na začetku četrtega leta. Tabela 9.1. prikazuje ocenjen obseg prodaje, prodajno ceno produkta in stroške surovin na tono produkta za 10 let obratovanja.

Tabela 9.1: Podatki za nalogo 9.5.

leto	prodaja (1000 t)	Cena izdelka (€/t)	Stroški surovin (€/t produkta)
4	100	150	90
5	105	150	90
6	110	150	90
7	120	150	90
8	130	150	90
9	140	150	90
10	150	145	85
11	165	140	85
12	180	140	85
13	190	140	85

Stalni stroški obratovanja (z vključeno amortizacijo) so :

1,4 mio €	do 9. leta
1,5 mio €	od 10. leta dalje

Spremenljivi stroški (brez stroškov surovin) so:

10 €/t produkta	do 9. leta
13 €/t produkta	od 10. leta dalje

Uporabimo enakomerno amortiziranje preko 10 let, preostala vrednost naj bo 1 mio €. Davčna stopnja je 25 %. Izračunajte a) donosnost, b) neto sedanjo vrednost pri obrestni meri 15 % in razmerje sedanjih vrednosti, c) interno stopnjo donosnosti in d) dobo vračanja.

Rešitev:

$I_{os} = I_{cel} - I_{obr} = 12{,}5 - 1{,}5 = 11$ mio €

$$D = \frac{11-1}{10} = 1 \text{ mio €/a}$$

$$P_B = R - c_{surovin} - c_{stalni} - c_{sprem}$$

$$P_A = 0{,}75\ P_B$$

$$C_A = P_A + D$$

$$C_A' = \frac{C_A}{(1+p)^n}$$

leto n	Investicija (M€)	R (M€/a)	$c_{surovin}$ (M€/a)	c_{stalni} (M€/a)	c_{sprem} (M€/a)	P_B (M€/a)	P_A (M€/a)	C_A (M€/a)	f_D	C_A' (M€/a)
0	-1							-1,00	1	-1,00
1	-5							-5,00	0,8696	-4,35
2	-5							-5,00	0,7561	-3,78
3	-1,5							-1,50	0,6575	-0,98
4		15,00	9,00	1,40	1,00	3,60	2,70	3,70	0,5717	2,12
5		15,75	9,45	1,40	1,05	3,85	2,89	3,89	0,4972	1,93
6		16,50	9,90	1,40	1,10	4,10	3,08	4,08	0,4323	1,76
7		18,00	10,80	1,40	1,20	4,60	3,45	4,45	0,3759	1,67
8		19,50	11,70	1,40	1,30	5,10	3,83	4,83	0,3269	1,58
9		21,00	12,60	1,40	1,40	5,60	4,20	5,20	0,2842	1,48
10		21,75	12,75	1,50	1,95	5,55	4,16	5,16	0,2472	1,28
11		23,10	14,03	1,50	2,15	5,42	4,07	5,07	0,2149	1,09
12		25,20	15,30	1,50	2,34	6,06	4,55	5,55	0,1869	1,04
13		26,60	16,15	1,50	2,47	6,48	4,86	5,86	0,1625	0,95
13	1,0							1,00	0,1625	0,16
13	1,5							1,50	0,1625	0,24
Σ						50,36				5,19

a) $$ROI_B = \frac{5{,}036}{12{,}5}\ 100 = \underline{40{,}3\ \%}$$

Izračunajte za vajo še ROI_A (enačba (8.5)) in donosnost povprečne investicije $ROAI_B$ (enačba (8.8)).

b) NSV = <u>5,19 mio €</u>

razmerje sedanjih vrednosti = 15,3 / 10,1 = 1,51

c) ISD = <u>22,94 %</u> (izračunamo iterativno)

d) Za izračun dobe vračanja si pripravimo tabelo kumulativnih denarnih tokov. Ker pri izračunu ne upoštevamo obratnih sredstev, jih ne vključimo v tabelo.

leto n	C_A (M€/a)	ΣC_A (M€/a)	C_A' (M€/a)	$\Sigma C_A'$ (M€/a)	
0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	
1	-5,00	-6,00	-4,35	-5,35	
2	-5,00	-11,00	-3,78	-9,13	
3					Obratnih sredstev ne upoštevamo!
4	3,70	-7,30	2,12	-7,01	
5	3,89	-3,41	1,93	-5,08	
6	4,08	0,67	1,76	-3,32	
7	4,45	5,12	1,67	-1,65	
8	4,83	9,95	1,58	-0,07	
9	5,20	15,15	1,48	1,41	

Če računamo dobo vračanja od trenutka 0 (prvi del naložbe):

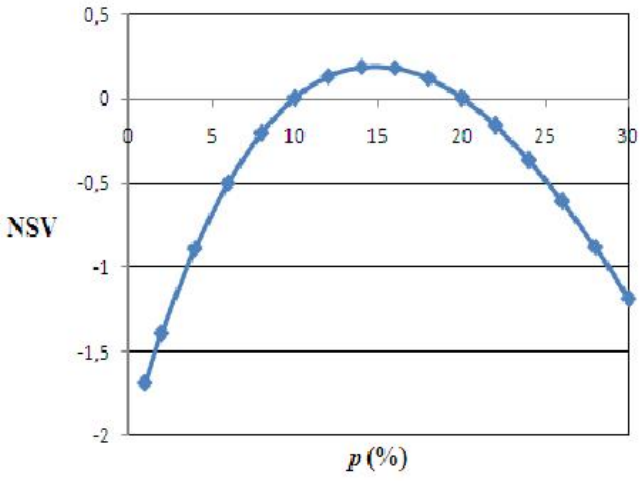
t_{VR} = 5,8 a in z diskontiranjem t_{VR}' = 8 a

Če računamo dobo vračanja glede na leto zagona, bo rezultat tri leta nižji:

t_{VR} = 2,8 a in z diskontiranjem t_{VR}' = 5 a

9.4.1. Večkratna interna stopnja donosnosti

Če ima projekt prvi denarni tok negativen, nato pa so vsi denarni tokovi, ki mu sledijo, pozitivni, bo imela ISD eno samo vrednost. Če pa se negativni in pozitivni denarni tokovi izmenjujejo, lahko ISD zavzame več vrednosti. Teoretično ima primer, v katerem denarni tok *M*-krat sporemeni predznak, *M* različnih vrednosti ISD. Vzemimo primer z naslednjimi denarnimi tokovi v zaporednih letih: -100, 230, -132. Slika prikazuje graf NSV v odvisnosti od diskontne stopnje. Iz njega je razvidno, da ima projekt dve vrednosti ISD: 10 % in 20 %. V takem primeru uporaba kriterija ISD ni mogoča, saj ni nobenega razloga, ki bi govoril v prid eni ali drugi vrednosti. Potrebno je uporabiti kriterij NSV.



Slika 9.3: Primer z dvema ISD

9.4.2. ISD in različna velikost investicij

Problem kriterija ISD je tudi ta, da ne upošteva velikosti investicije. Vzemimo, da nam nekdo ponudi dve opciji, odločiti se moramo le za eno. Predpostavimo, da sta obe opciji brez tveganja. Prva opcija je, da osebi izročimo 1 EUR in dobimo čez dve uri vrnjenih 1,5 EUR. Druga možnost je, da investiramo 10 EUR in dobimo čez dve uri 11 EUR. Za katero možnost bi se odločili? Zaradi kratkega obdobja investiranja, izračunajmo NSV brez uporabe obrestne mere:

$$NSV_1 = -1 + 1{,}5 = 0{,}5 \text{ EUR}$$
$$NSV_2 = -10 + 11 = 1 \text{ EUR}$$

Izračunajmo še interni stopnji donosnosti:

$$0 = -1 + \frac{1{,}5}{1 + p_1^*} \quad \rightarrow \quad p_1^* = 0{,}5 = 50\ \%$$

$$0 = -10 + \frac{11}{1 + p_2^*} \quad \rightarrow \quad p_2^* = 0{,}1 = 10\ \%$$

Očitno je, da bi se glede na kriterij NSV odločili za drugo alternativo, medtem ko bi glede na kriterij ISD izbrali prvo. Vendar je pravilen izbor druge alternative, torej možnosti, ki jo izberemo s kriterijem maksimalne NSV. Problem kriterija ISD je v tem primeru ta, da ne upošteva velikosti vloženega zneska. ISD prve opcije je 50 %, vendar je vložek bistveno manjši kot pri drugi možnosti. Z mnogo večjim zneskom lahko v drugem primeru še vedno ustvarimo spodobno obrestno mero 10 % in v absolutnem smislu zaslužimo 1 EUR namesto 0,5 EUR. Kako pravilno uporabljati kriterija NSV in ISD v primeru izbora med medsebojno izključujočimi alternativami, bo predstavljeno v poglavju 10.2.3.

10. Izbira med alternativami

Kemijski inženirji se pri svojem delu pogosto odločajo med alternativnimi projekti, npr. med različnimi procesnimi enotami za izvedbo iste operacije, med različnimi procesi za proizvodnjo istega produkta ali med različnimi možnostmi za investiranje denarja.

Pri analizi alternativ največkrat izračunavamo razlike (diferenciale, inkremente) v vrednostih določenih parametrov za dve ali več alternativ (npr. razliko v naložbi, stroških) in na osnovi teh razlik uporabljamo enake metode kot za ocenjevanje posameznih projektov. Zato pogosto govorimo o inkrementalni analizi.

10.1. Izbira med različnimi procesnimi enotami

Primer: izvedba ločevanja z vakumskim filtrom ali s centrifugo; izbira med črpalko iz navadnega jekla s krajšo življenjsko dobo ali črpalko iz kvalitetnejše zlitine z daljšo življenjsko dobo.

10.1.1. Pravilo minimalne naložbe

Pravilo je trivialno: kadar so pri obeh alternativah ***vsi*** pogoji enaki, izberemo cenejšo alternativo. Pravilo ima omejeno uporabo, saj so le redko prav vsi pogoji enaki.

10.1.2. Inkrementalna donosnost

je definirana kot razmerje med razliko letnih dobičkov in razliko v naložbi (ceni) za dve alternativni procesni enoti:

$$\Delta \mathrm{ROI_B} = \frac{\Delta P_\mathrm{B}}{\Delta c_\mathrm{m}} = \frac{(P_\mathrm{B})_2 - (P_\mathrm{B})_1}{(c_\mathrm{m})_2 - (c_\mathrm{m})_1} \tag{10.1}$$

kjer je c_m cena montirane procesne enote, pri čemer upoštevamo samo tiste postavke, ki se pri alternativah razlikujejo. V večini primerov ima izbira procesne enote vpliv na obratovalne stroške, nima pa večjega vpliva na prihodek in na druge odhodke, zato lahko zapišemo:

$$\Delta P_\mathrm{B} = (P_\mathrm{B})_2 - (P_\mathrm{B})_1 = (c_\mathrm{obr})_1 - (c_\mathrm{obr})_2 \tag{10.2}$$

Inkrementalni dobiček je v tem primeru enak prihranku obratovalnih stroškov. V izračunu upoštevamo samo tiste obratovalne stroške, ki se razlikujejo, npr. amortizacija, stroški vzdrževanja, stroški pogonskih sredstev… Dražjo alternativo izberemo, če velja:

$$\Delta \mathrm{ROI_B} \geq 15\,\%$$

Naloga 10.1: Za določeno procesno operacijo lahko uporabimo dve različni procesni enoti. Z uporabo podatkov v tabeli in kriterija inkrementalne donosnosti izberi alternativo.

	Procesna enota	
	A	B
Naložba, €	10 000	15 000
Amortizacija (10 a), €/a	1 000	1 500
Drugi obratovalni stroški, €/a	3 000	1 500

Če primerjamo med seboj več alternativ, jih razvrstimo po naraščajoči ceni,

$$A, B, C, \ldots, N$$

in začnemo s primerjavo para (*A*, *B*). Če je npr. izbran *A*, ker je $\Delta\ ROI_B < 15\ \%$, v naslednjem koraku primerjamo par (*A*, *C*) in tako dalje do primerjave med zadnjim "zmagovalcem" in alternativo *N*.

Slaba stran metode je, da ne upošteva različnih življenskih dob posameznih alternativ, zato jo uporabljamo le v primeru enakih življenjskih dob. V nasprotnem primeru uporabljamo metode, ki upoštevajo časovno spreminjanje vrednosti denarja.

Naloga 10.2: Odločamo se med 4 alternativami, za katere smo ocenili naložbe na 1800, 1500 1200 in 1000 d.e. Obratovalni stroški brez amortizacije v enakem vrstnem redu so 70, 160, 220 in 300 d.e. Predpostavimo enakomerno amortizacijo preko 10 let. Uporabite kriterij inkrementalne donosnosti in z analizo po parih izberite najugodnejšo alternativo. Minimalna sprejemljiva vrednost inkrementalne donosnosti naj bo 15 %.

10.1.3. Metoda ekvivalentnih letnih stroškov (break-even analysis)

je najpogosteje uporabljena metoda za izbiro med alternativnimi procesnimi enotami. Temelji na izračunu *ekvivalentnih letnih stroškov*. Izberemo tisto alternativo, ki ima nižje ekvivalentne stroške. Primerna je za primerjavo alternativ z različnimi življenjskimi dobami in različnimi obratovalnimi stroški.

Ekvivalentni letni stroški so vsota letnega zneska naložbe in vseh gotovinskih odhodkov po obdavčitvi. Letne zneske naložbe izračunavamo kot anuitete, ki bi jih morali plačevati skozi življenjsko dobo, da bi povrnili vložena sredstva. Pri izračunu ponavadi uporabimo obrestno mero, enako interni stopnji donosnosti, ki jo izkazujejo pretekli projekti podjetja (glejte enačbo (2.44)):

$$a_{\mathrm{I}} = c_{\mathrm{n}} \frac{p\left(1+p\right)^{n}}{\left(1+p\right)^{n}-1} \tag{10.3}$$

kjer je:

a_{I} letni znesek naložbe, €/a

c_{n} cena naprave, €

p obrestna mera, oz. interna stopnja donosnosti preteklih projektov podjetja, a^{-1}

Cena naprave, c_{n}, lahko vključuje nabavno ceno in stroške montaže. Če ima procesna enota po izteku obdobja še znatno preostalo vrednost, upoštevamo tudi člen, ki predstavlja letni obrok, ki daje po *n* letih prihodnjo vrednost enako *S* (glej enačbo (2.48)):

$$a_{\mathrm{S}} = S \frac{p}{\left(1+p\right)^{n}-1} \tag{10.4}$$

kjer je:

a_S letni znesek, ki izhaja iz preostale vrednosti, €/a

S preostala vrednost procesne enote, €

Denarni tok po obdavčitvi smo v 6. poglavju izrazili z enačbo:

$$C_A = (1-t)(R-E) + tD \tag{10.5}$$

Ekvivalentni letni stroški po obdavčitvi so torej:

$$c_{eq} = a_I - a_S - C_A = a_I - a_S - (1-t)(R-E) - tD \tag{10.6}$$

kjer je:

c_{eq} ekvivalentni letni strošek po obdavčitvi, €/a
E gotovinski izdatki, ki so povezani z obratovanjem, €/a
R prihodek, ki se nanaša na različne prihranke, npr. energije, €/a
t davčna stopnja.

Ker računamo stroške, ima člen a_I v gornji enačbi pozitiven predznak, saj gre v osnovi za letni odhodek, ki izhaja iz investicije. Člen a_S predstavlja prihodek iz preostale vrednosti, zato ima v gornji enačbi, ki izraža stroške, negativen predznak. Enako velja za člen C_A, ki predstavlja denarni tok iz obratovanja po obdavčitvi.

Od odhodkov, E, upoštevamo le tiste, ki se pri obeh alternativah razlikujejo. Tudi v členu R upoštevamo samo razliko v prihodkih obeh alternativ, ki je najpogosteje izražena z različnimi prihranki, npr. energije. Člen tD izraža zmanjšanje davka zaradi amortizacije in dejansko pomeni znižanje stroškov, zato ima negativen predznak.

Naloga 10.3: Izbiramo med tremi alternativami z naslednjimi denarnimi tokovi:

leto	A	B	C
0 (naložba)	5000	8000	10000
1-10	1400	1900	2500

Preostala vrednost vseh treh alternativ je enaka 0. Z metodo letnih ekvivalentnih stroškov izberite najugodnejšo alternativo. Uporabite 15 % obrestno mero.

Naloga 10.4: Cena montirane črpalke z elektromotorjem je 24 000 EUR. Na iztoku črpalke lahko namestimo kontrolni ventil, ki stane 2000 EUR ali pa pretok reguliramo z obodno hitrostjo rotorja črpalke, za kar moramo uporabiti dodatno gonilo, ki poveča ceno s 24 000 EUR na 34 000 EUR. Pričakujemo, da bo črpalka v obeh primerih delovala 10 let. Z gonilom bi letno prihranili 6 400 EUR pri električni energiji, vendar pa bi bili letni stroški vzdrževanja za 3 000 EUR večji. Katero od obeh alternativ bi uporabili, če je p = 10 % in davčna stopnja 25 %?

Za vajo izvedite izbiro med alternativama še z uporabo kriterija inkrementalne donosnosti. (Zakaj je v tem primeru to dopustno?)

Metodo ekvivalentnih letnih stroškov lahko uporabimo tudi za primerjavo alternativ, ki se razlikujejo po investiciji in obratovalnih stroških ter imajo različne življenjske dobe. V takem primeru izračunamo sedanjo vrednost investicije in stroškov ter nato ekvivalentni letni strošek, ki ustreza letnim anuitetam, s katerimi bi v življenjski dobi alternative pokrili stroške nakupa in obratovanja naprave.

$$SV_{stros} = c_n + \sum_{i=1}^{n} \frac{c_{obr,i}}{(1+p)^i} \tag{10.7}$$

kjer je:

SV_{stros}	sedanja vrednost naložbe in obratovalnih stroškov, €
c_{n}	cena naprave oz. naložba, €
$c_{\text{obr},i}$	obratovalni stroški v letu i, €
n	življenjska doba, a
p	izbrana obrestna mera.

Ekvivalentni letni strošek izračunamo kot anuiteto:

$$c_{\text{eq}} = \frac{SV_{\text{stros}}}{\dfrac{(1+p)^n - 1}{p(1+p)^n}} \tag{10.8}$$

Izberemo tisto alternativo, ki ima nižji ekvivalentni letni strošek.

Naloga 10.5: Podjetje izbira med napravama F in G. Napravi imata isto kapaciteto in opravljata enako opravilo. Naprava F stane 15 000 €, njeni obratovalni stroški znašajo 4000 €/a, življenjska doba je 3 leta. Naprava G stane 10 000 €, njeni stroški so 6000 €/a, življenjska doba le 2 leti. Katero napravo naj izbere podjetje, če je obrestna mera 6 %?

Naloga 10.6: Podjetje ima obstoječo napravo, ki bi lahko obratovala še eno leto, vendar bi to zahtevalo 2500 € za vzdrževanje, drugi obratovalni stroški bi znašali 1800 €/a. Po drugi strani na tržišču obstajata alternativni novi napravi H in I z naslednjimi podatki (v letu 0 je prikazana cena naprav, nato pa obratovalni stroški):

leto	0	1	2	3
H	10 000	1100	1200	–
I	12 000	1100	1200	1300

Naprava H bi obratovala dve leti, naprava I tri. Ali naj podjetje zdaj nadomesti obstoječo napravo s katero od novih naprav? Obrestna mera je 10 %.

10.2 Izbira med različnimi procesi in naložbami

10.2.1. Inkrementalna donosnost

Pri presoji alternativ moramo najprej oceniti donosnost, ROI_B, za vsako alternativo posebej. Če obe alternativi izpolnjujeta minimalno predpisano donosnost, nadaljujemo z izračunom inkrementalne donosnosti, $\Delta\,\text{ROI}_\text{B}$, ki je definirana kot:

$$\Delta\,\text{ROI}_\text{B} = \frac{(P_\text{B})_2 - (P_\text{B})_1}{(I_\text{cel})_2 - (I_\text{cel})_1}\,100 \tag{10.9}$$

Sprejemljiva vrednost inkrementalne donosnosti je za procesne alternative precej višja od 15 % kot pri alternativnih procesnih enotah, ker je pri izbiri dražjega procesa tudi tveganje precej večje kot pri procesni enoti.

Naloga 10.7: Za proizvodnjo nekega izdelka lahko izberemo dva postopka, A in B, s podatki, ki jih prikazuje tabela. Oba postopka se uvrščata med industrijske kemijske projekte z nizko stopnjo tveganja. Na osnovi inkrementalne donosnosti določite, kateri proces bomo izbrali.

	A	B
Naložba, 10^6 €	1,20	2,00
Dobiček pred obdavčitvijo, 10^6 €/a	0,24	0,36

10.2.2. Inkrementalna neto sedanja vrednost

Najprej izračunamo NSV za vsako alternativo posebej. Če obe ustrezata kriteriju pozitivne NSV, izračunamo inkrementalno NSV. Za to uporabimo inkrementalno investicijo, ΔI_{cel}, ki jo izračunamo tako, da od dražje invsticije odštejemo cenejšo. Nato izračunamo še inkrementalni denarni tok, ΔC_{A}, kot razliko denarnega toka alternative z višjo in alternative z nižjo naložbo.

$$\Delta NSV = -\Delta I_{\text{cel}} + \Delta C_{\text{A}} \frac{(1+p)^n - 1}{p(1+p)^n}$$

kjer je p uporabljena obrestna mera. Če je inkrementalna NSV večja od 0, je izbor dražje altrenative upravičen, če ne, izberemo cenejšo.

10.2.3. Inkrementalna interna stopnja donosnosti

Inkrementalno interno stopnjo donosnosti lahko definiramo za dve alternativi, ki imata konstantne donose po obdavčitvi, C_{A}. Inkrementalni denarni tok, ΔC_{A}, je tako enak za vsako leto (predpostavimo enako življenjsko dobo obeh alternativ) in ga lahko obravnavamo kot anuiteto za pokritje razlike vrednosti naložb obeh alternativ, ΔI_{cel} (glejte enačbo (2.39)):

$$\Delta I_{\text{cel}} = \Delta C_{\text{A}} \frac{(1+p_{\text{in}}^*)^n - 1}{p_{\text{in}}^*(1+p_{\text{in}}^*)^n} \tag{10.10}$$

kjer je p_{in}^* inkrementalna interna stopnja donosnosti.

Naloga 10.8: Ta naloga prikazuje primer razporejanja razpoložljivih sredstev (budget allocation) med različne neodvisne projekte. Podjetje BK preučuje pet predlogov za nove procesne enote. Za vsako enoto so določili ceno in izračunali interno stopnjo donosnosti:

	A	B	C	D	E
Naložba, €	60 000	50 000	100 000	100 000	100 000
ISD, %	8,33	12	25	16	20

Minimalna sprejemljiva interna stopnja donosnost za podjetje je 11 %. Razpoložljivih sredstev je za 325 000 €. Katere predloge naj sprejme podjetje?

Naloga 10.9: Izberite med dvema možnostima z naslednjimi denarnimi tokovi v milijonih €. Uporabite 25 % diskontno stopnjo.

Projekt	Leto 0 (naložba)	Leto 1
A	-10	40
B	-25	65

Rešitev:

Projekt	NSV (MEUR)	ISD (%)
A	22	300
B	27	160

Očitno je, da sta obe individualni NSV pozitivni in obe individualni ISD bistveno višji od diskontne stopnje 25 %. Prav tako je očitno, da bi dal kriterij NSV drugačen izbor kot kriterij ISD. Zato izračunamo vrednosti inkrementalnih kriterijev. Inkrementalna NSV pri 25 % diskontni stopnji znaša 5 MEUR. Inkrementalna ISD znaša 66,67 %. Ker je inkrementalna NSV pozitivna in je inkrementalna ISD višja od 25 %, lahko zaključimo, da je izbor dražje alternative B upravičen, čeprav bi lahko izbrali tudi cenejšo alternativo A, saj ima pozitivno individualno NSV.

Naloga 10.10: Za projekta z denarnimi tokovi, ki so prikazani v tabeli, narišite graf NSV = $f(p)$. Na isto sliko narišite tudi graf inkrementalne NSV.

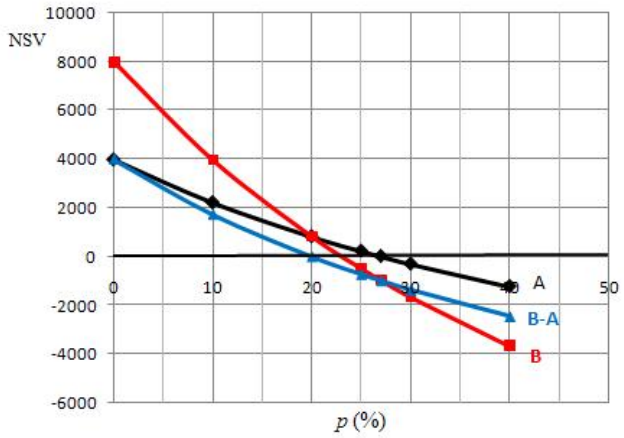
Projekt	Leto 0 (naložba)	Leto 1	Leto 2
A	10 000	8 000	6 000
B	20 000	10 000	18 000

Iz grafa odčitajte individualni ISD projektov A in B ter inkrementalno ISD za razliko projektov B-A. Diskutirajte izbor projekta pri različnih obrestnih merah glede na kriterij NSV, ISD, inkrementalna NSV in inkrementalna ISD.

Rešitev: primerjava odločitev glede na kriterij NSV (ali inkrementalne NSV), ISD in inkrementalne ISD.

p (%)	NSV_A	NSV_B	NSV_{B-A}	Odločitev
0	4000	8000	4000	B
10	2231	3967	1735	B
20	833	833	0	B
25	240	-480	-720	A
27	19,2	-966	-985	A
30	-296	-1657	-1361	-
40	-1224	-3673	-2449	-

p (%)	ISD_A	ISD_B	ISD_{B-A}	Odločitev glede na indiv. ISD napačno	Odločitev glede na ISD_{B-A} pravilno
0	27	23	20	A	B
10	27	23	20	A	B
20	27	23	20	A	B
25	27	23	20	A	A
27	27	23	20	A	A
30	27	23	20	-	-
40	27	23	20	-	-



10.2.4. Inkrementalno razmerje sedanjih vrednosti (benefit-cost ratio analysis)

Možni pristop za analizo investicijskih alternativ je tudi inkrementalno razmerje sedanjih vrednosti (Δ RSV) za par alternativ, pri čemer uporabimo obrestno mero, ki jo določi vodstvo podjetja. Alternative preverjamo v parih glede na naraščajočo vrednost naložbe in"zmagovalec" para se pomeri z naslednjo alternativo v zaporedju.

$$\Delta RSV = \frac{(\mathrm{SV})_2 - (\mathrm{SV})_1}{(I_{\mathrm{cel}})_2 - (I_{\mathrm{cel}})_1} \tag{10.11}$$

kjer je SV sedanja vrednost vseh pozitivnih donosov za vsak projekt izračunana z določeno obrestno mero. Če je:

$$\Delta \mathrm{RSV} > 1{,}0$$

je boljši tisti projekt z večjo investicijo; korist (razlika sedanjih vrednosti donosov) je večja od stroškov (razlika investicij). Dobra stran te metode je, da lahko imajo projekti različne življenjske dobe.

Naloga 10.11:

Primerjajte projekta s kriterijem razmerja sedanjih vrednosti, če je cena kapitala postavljena na 12 %.

	A	B
Naložba, 10^6 €	1,50	2,20
Denarni tok po obdavčitvi, 10^6 €/a	0,50	0,54
Preostala vrednost, 10^6 €	0,10	0,13
Življenjska doba, a	5	7

Rešite nalogo še z uporabo kriterija ekvivalentnih letnih stroškov. Ali se izbira spremeni?

10.2.5. Najem (leasing) procesnih enot

Pogosto izbiramo med alternativama: kupiti ali najeti določeno procesno enoto. V kemijski industriji je ta izbira pogosta pri specialnih procesnih enotah, ki hitro zastarijo (npr. računalniki, specialne analizne naprave, kopirni stroji ipd.)

Kriterij za odločanje temelji na izračunu cene lizinga, ki jo izrazimo kot obrestno mero, in primerjamo z obrestno mero za posojila. Če je cena lizinga višja, je procesno enoto bolje kupiti. Metoda torej temelji na predpostavki, da bomo enoto kupili s sposojenimi sredstvi in ne z lastnimi. Lizing ima določeno prednost: obročna plačila lahko štejemo med stroške in na ta način znižamo osnovo za izračun davka. Po drugi strani tudi pri nakupu procesne enote znižamo davek zaradi amortizacije – ta znesek upoštevamo tako, da ga prištejemo k stroškom lizinga.

Naloga 10.12: Cena generatorja je 200.000 EUR in pričakujemo, da bo obratoval 5 let. Generator lahko tudi najamemo za letno najemnino 80.000 EUR. Katero alternativo bomo izbrali, če je davčna stopnja 50 %, obrestna mera za posojila 10 % in uporabimo enakomerno amortizacijo z ničelno preostalo vrednostjo.

Literatura

Ahmad M., Benson R., *Benchmarking in the Process Industries*, IChemE, Rugby, UK, 1999.

Allen D., *Economic Evaluation of Projects*. IChemE, Rugby, 1991.

Antunović P., *Finance podjetja*. Center Brdo, Sklad za razvoj managementa, Ljubljana, 1999.

Biegler L.T., Grossmann I.E., Westerberg A.W., *Systematic methods of chemical process design*. Prentice-Hall, New Jersey, 1997.

Chauvel A., *Manual of process economic evaluation*. Editions Technip, Paris, 2003.

Gerard A.M., *Guide to capital cost estimating*. IChemE, Rugby, UK, 2000.

Harrison R.G., Todd P.W., Rudge S.R., Petrides D.P., *Bioseparations Science and Engineering*, Oxford University Press, New York, 2003.

Igličar A., Hočevar M., *Računovodstvo za managerje*. Gospodarski vestnik, Ljubljana, 1997.

Newnan D. G., Eschenbach T. G., Lavelle J. P., *Engineering Economic Analysis*. Oxford University Press, New York, 2004.

Peters S.M., Timmerhaus K.D., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th edition. McGraw-Hill, New York, 2002.

Seider W.D., Seader J.D., Lewin D.R., *Product and process design principles: synthesis, analysis, and evaluation*, 2nd edition. Wiley, 2004.

Valle-Riestra J.F., *Project Evaluation in the Chemical Process Industries*. McGraw-Hill, Inc., 1983.

Woods D.R., *Financial decision making in the process industry*. Prentice-Hall, New Jersey, 1975.

Priloga 1: Eksponentne zveze za nakupne cene procesnih enot[1]

TABLE 9-50 Typical Exponents for Equipment Cost versus Capacity

Equipment	Size	Unit	Approximate cost, $000	Size range	Exponent
Agitator, turbine, top entry, open, FOB	10 (7.5)	hp (kW)	7.0	2–30 (1.5–22.4)	0.45
Agitator, turbine, top entry, closed, FOB	10 (7.5)	hp (kW)	10.7	2–200 (1.5–150)	0.56
Blower, centrifugal, 4 lbf/in² (27.6 kN/m²), DEL, excluding motor	10 (4.72)	10^3 sft³/min (sm³/s)	67	0.5–150 (0.24–71)	0.60
Cone crusher, FOB, crusher only	100 (74.6)	hp (kW)	130	30–300 (22.4–224)	0.92
Jaw crusher, FOB, excluding motor	10 (7.5)	hp (kW)	34	1–60 (0.75–44.7)	0.65
Jaw crusher, FOB, excluding motor	100 (74.6)	hp (kW)	284	60–400 (44.7–300)	0.81
Centrifugal pump, C/S, FOB, excluding motor	10 (7.5)	hp (kW)	1.6	0.5–40 (0.37–30)	0.30
Centrifugal pump, C/S, FOB, excluding motor	100 (74.6)	hp (kW)	4.4	40–400 (30–300)	0.67
Conveyor, belt, C/S, FOB, excluding motor	100 (9.3)	ft² (m²)	6.7	60–200 (5.6–18.6)	0.50
Conveyor, screw, C/S, DEL, excluding motor	70 (540)	ft × m diameter (m × mm diameter)	10	50–100 (390–780)	0.46
Centrifuge, automatic batch, horizontal, C/S, FOB	20 (1.86)	Filter area, ft² (m²)	100	7–80 (0.65–7.43)	0.65
Compressor, reciprocating, <1000 lbf/in², FOB, including motor	300 (224)	hp (kW)	133	1–20000 (0.75–1490)	0.84
Crystallizer, forced circulation, C/S, FOB	100 (91)	ton/day (Mg/day)	283	10–1000 (9.1–970)	0.59
Dryer, drum, C/S, FOB, excluding motor	100 (9.3)	ft² (m²)	73	10–400 (0.9–37)	0.52
Dryer, vacuum, shelf, C/S, FOB, excluding trays, vacuum equipment	100 (9.3)	ft² (m²)	17	15–1000 (1.4–93)	0.56
Dust collector, cloth, shaker type, FOB, including motors	10^4 (4.7)	sft³/min (m³/s)	17	10^3–5×10^4 (0.47–23.6)	0.79
Dust collector, multicyclones, FOB	10^4 (4.7)	sft³/min (m³/s)	7	10^3–1.5×10^5 (0.47–70.8)	0.66
	10^4 (4.7)	ft³/min at 40°C (m³/s)	77	10^3–8×10^4 (0.47–73.8)	0.39
Electrostatic precipitator, FOB	2×10^5 (94)		383	8×10^4–10^6 (37.8–472)	0.81
Ejector, single-stage, 100 psig, steam, FOB	3 (10^{-2})	lb/h (air/mmHg absolute)	2.7	0.2–30 (6.8×10^{-4}–0.1)	0.50
Ejector, two-stage, FOB, including condenser, piping	1 (3.4×10^{-3})	[kg/h/(N/m²)]	6.3	0.2–10 (6.8×10^{-4}–3.4×10^{-2})	0.43
Ejector, multistage, FOB, including condenser, piping	10 (3.4×10^{-2})	[kg/h/(N/m²)]	16.7	0.2–100 (6.8×10^{-4}–0.34)	0.26
Filter, vertical-pressure leaf, C/S, DEL	100 (9.3)	ft² (m²)	17	30–1500 (2.8–140)	0.57
Filter, plate and frame, C/S, DEL	100 (9.3)	ft² (m²)	5.7	10–1000 (0.9–93)	0.55
Filter, vacuum rotary drum, C/S, FOB, including motor	100 (9.3)	ft² (m²)	63.3	10–1500 (0.9–140)	0.48
Heat exchanger, shell-tube, floating head, C/S, DEL; fixed tube × 0.85; U tube × 0.87; kettle × 1.35	1000 (93)	ft² (m²)	21.7	20–20000 (1.9–1860)	0.59
Heat exchanger, thermal screw, C/S, FOB, excluding motor	100 (9.3)	ft² (m²)	33	10–400 (0.9–37)	0.78
Kettle, jacketed, glass-lined, FOB	100 (0.38)	U.S. gal (m³)	53	50–1000 (0.2–3.8)	0.48
Motors, ac induction, wound rotor, TEFC, FOB	10 (7.5)	hp (kW)	12.3	10–25 (7.5–18.6)	0.56
Motors, ac induction, wound rotor, TEFC, FOB	70 (52)	hp (kW)	19.3	25–200 (18.6–149)	0.77
Piping, typical straight run, C/S, FOB, $/ft					
Installed: $/ft × 6 to 7	6 (152)	Nominal diameter in (mm)	0.0093	1–24 (25–610)	1.33
Complex network: FOB $/ft × 2 Installed: $/ft × 13					
Pressure vessel horizontal drum (150 psig), C/S	1000 (3.8)	U.S. gal (m³)	6.3	100–80000 (0.4–302)	0.62
Jacketed reactors, including mixer, FOB	100 (0.38)	U.S. gal (m³)	9.3	10–4000 (0.04–15.1)	0.53
Refrigeration, packaged mechanical, INST	100 (351.7)	U.S. tons (kW)	133	10–1000 (35.2–3520)	0.73
Screen, vibrating, single-deck, DEL, including motor	500 (46)	ft² (m²)	10	150–700 (14–65)	0.62
Stack, carbon steel		ft (m)	—	20–150 (6.1–45.7)	1.00
Tanks: atm, horizontal cylinder, C/S, FOB	1000 (3.8)	U.S. gal (m³)	4.7	100–40000 (0.4–151)	0.57
Vertical cylinder, C/S, FOB	1000 (3.8)	U.S. gal (m³)	3.3	100–20000 (0.4–76)	0.30
Vertical jacketed, C/S, FOB	1000 (3.8)	U.S. gal (m³)	15	70–1500 (0.26–5.7)	0.57
Vertical agitated, C/S, FOB, including motor	1000 (3.8)	U.S. gal (m³)	12.3	100–20000 (0.4–76)	0.50
Towers, distillation including internals, INST	4000 (trays)	$\left(\frac{\text{feed, lb/year}}{10^6}\right)^{0.65}$	3300	300–30000	1.00

NOTE: All costs are North American values with M & S = 1000.

[1] Vir: Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, 1997.

Priloga 2: Eksponentne zveze za nakupne cene procesnih enot[2]

Table 16.32 Purchase Costs (f.o.b.) of Other Chemical Processing Equipment, CE Index = 394. Equations for pumps, compressors, motors, heat exchangers, and pressure vessels are in Section 16.5

Equipment Type	Size Factor (S)	Range of S	f.o.b. Purchase Cost Equation ($)	Notes
Adsorbents				
Activated alumina	Bulk volume, ft^3		$C_P = 35\,S$	
Activated carbon	Bulk volume, ft^3		$C_P = 25\,S$	
Silica gel	Bulk volume, ft^3		$C_P = 90\,S$	
Molecular sieves	Bulk volume, ft^3		$C_P = 60\,S$	
Agitators				Includes motor and shaft
Propeller, open tank	Motor Hp	1–8 Hp	$C_P = 1{,}810\,S^{0.34}$	Direct coupling to motor
Propeller, closed vessel	Motor Hp	1–8 Hp	$C_P = 2{,}600\,S^{0.17}$	Direct coupling to motor, pressures to 150 psig
Turbine, open tank	Motor Hp	2–60 Hp	$C_P = 2{,}590\,S^{0.54}$	Includes speed reducer
Turbine, closed vessel	Motor Hp	2–60 Hp	$C_P = 2{,}850\,S^{0.57}$	Includes speed reducer, pressures to 150 psig
Autoclaves				Includes turbine agitator and heat-transfer jacket
Steel	Vessel volume, gal	30–8,000 gal	$C_P = 825\,S^{0.52}$	Pressures to 300 psig
Stainless steel	Vessel volume, gal	30–2,000 gal	$C_P = 1{,}560\,S^{0.58}$	Pressures to 300 psig
Glass-lined	Vessel volume, gal	30–4,000 gal	$C_P = 1{,}450\,S^{0.54}$	Pressures to 100 psig
Crystallizers				
Continuous cooling				
Jacketed scraped wall	Length, L, ft	15–200 ft	$C_P = 11{,}400\,L^{0.67}$	Stainless steel
Continuous evaporative				
Forced circulation	Tons crystals/day, W	10–1,000 ton/day	$C_P = 27{,}500\,W^{0.56}$	Carbon steel
Draft-tube baffled	Tons crystals/day, W	10–250 ton/day	$C_P = 22{,}200\,W^{0.63}$	Carbon steel
Batch evaporative	Volume, V, ft^3	50–1,000 ft^3	$C_P = 32{,}200\,V^{0.41}$	Stainless steel
Drives other than electric motors				
Steam turbines (noncondensing)	Shaft power, P, Hp	250–10,000 Hp	$C_P = 7{,}400\,P^{0.41}$	Carbon steel
Steam turbines (condensing)	Shaft power, P, Hp	250–10,000 Hp	$C_P = 20{,}000\,P^{0.41}$	Carbon steel
Gas turbines	Shaft power, P, Hp	100–10,000 Hp	$C_P = 2{,}000\,P^{0.76}$	Carbon steel
Internal combustion engines	Shaft power, P, Hp	100–4,000 Hp	$C_P = 1{,}100\,P^{0.75}$	Carbon steel
Dryers				
Batch tray	Tray area, A, ft^2	20–200 ft^2	$C_P = 3{,}500\,A^{0.38}$	Stainless steel
Direct-heat rotary	Drum peripheral area, A, ft^2	200–3,000 ft^2	$C_P = \exp\{10.158 + 0.1003[\ln(A)] + 0.04303[\ln(A)]^2\}$	Stainless steel
Indirect-heat steam-tube rotary	Heat-transfer area, A, ft^2	100–1,400 ft^2	$C_P = 1{,}200\,A^{0.92}$	Stainless steel
Drum	Heat-transfer area, A, ft^2	60–480 ft^2	$C_P = 25{,}000\,A^{0.38}$	Stainless steel
Spray	Evaporation rate, W, lb/hr	30–3,000 lb/hr	$C_P = \exp\{8.0556 + 0.8526[\ln(W)] - 0.0229[\ln(W)]^2\}$	Stainless steel
Dust collectors				
Bag filters	Gas flow rate, actual ft^3/min	5,000–2,000,000	$C_P = \exp\{10.020 - 0.4381[\ln(S)] + 0.05563[\ln(S)]^2\}$	Carbon steel
Cyclones	Gas flow rate, actual ft^3/min	200–100,000	$C_P = \exp\{8.9845 - 0.7892[\ln(S)] + 0.08487[\ln(S)]^2\}$	Carbon steel
Electrostatic precipitators	Gas flow rate, actual ft^3/min	10,000–2,000,000	$C_P = \exp\{11.442 - 0.5300[\ln(S)] + 0.05454[\ln(S)]^2\}$	Carbon steel
Venturi scrubbers	Gas flow rate, actual ft^3/min	2,000–20,000	$C_P = \exp\{9.3773 - 0.3281[\ln(S)] + 0.0500[\ln(S)]^2\}$	Carbon steel
Evaporators				
Horizontal tube	Heat-transfer area, A, ft^2	100–8,000 ft^2	$C_P = 3{,}200\,A^{0.53}$	Carbon steel
Long-tube vertical (rising film)	Heat-transfer area, A, ft^2	100–8,000 ft^2	$C_P = 4{,}500\,A^{0.55}$	Carbon steel
Forced circulation	Heat-transfer area, A, ft^2	150–8,000 ft^2	$C_P = \exp\{8.0604 + 0.5329[\ln(A)] - 0.000196[\ln(A)]^2\}$	Carbon steel
Falling film	Heat-transfer area, A, ft^2	150–4,000 ft^2	$C_P = 10{,}800\,A^{0.55}$	Stainless steel tubes, carbon steel shell

(Continued)

[2] Vir: Seider W. D., Seader J. D., Lewin D. R. Product and process design principles: synthesis, analysis, and evaluation, 2nd ed.; Wiley: New York, 2004.

Table 16.32 *(Continued)*

Equipment Type	Size Factor (S)	Range of S	f.o.b. Purchase Cost Equation ($)	Notes
Fired heaters for specific purposes				
Reformer	Heat absorbed, Q, Btu/hr	10–500 million Btu/hr	$C_P = 0.677\ Q^{0.81}$	Carbon steel, pressure to 10 atm
Pyrolysis	Heat absorbed, Q, Btu/hr	10–500 million Btu/hr	$C_P = 0.512\ Q^{0.81}$	Carbon steel, pressure to 10 atm
Hot water	Heat absorbed, Q, Btu/hr	0.5–70 million Btu/hr	$C_P = \exp\{9.3548 - 0.3769[\ln(Q)] + 0.03434[\ln(Q)]^2\}$	
Molten salt, mineral and silicon oils	Heat absorbed, Q, Btu/hr	0.5–70 million Btu/hr	$C_P = 9.71\ Q^{0.64}$	
Dowtherm A	Heat absorbed, Q, Btu/hr	0.5–70 million Btu/hr	$C_P = 9.83\ Q^{0.65}$	
Steam boiler	Heat absorbed, Q, Btu/hr	0.5–70 million Btu/hr	$C_P = 0.289\ Q^{0.77}$	Carbon steel, pressure to 20 atm
Heat exchangers, other				
Air-cooled fin-fan	Bare-tube heat-transfer area, A, ft^2	40–150,000 ft^2	$C_P = 1{,}970\ A^{0.40}$	Carbon steel
Compact units				
Plate-and-frame	Heat-transfer area, A, ft^2	150–15,000 ft^2	$C_P = 7{,}000\ A^{0.42}$	Stainless steel
Spiral plate	Heat-transfer area, A, ft^2	20–2,000 ft^2	$C_P = 4{,}900\ A^{0.42}$	Stainless steel
Spiral tube	Heat-transfer area, A, ft^2	1–500 ft^2	$C_P = \exp\{7.8375 + 0.4343[\ln(A)] + 0.03812[\ln(A)]^2\}$	Stainless steel
Liquid–liquid extractors				
Rotating disk contactors (RDC)	S = (Height, H, ft)(Diameter, D, ft)$^{1.5}$	3–2,000 ft$^{2.5}$	$C_P = 250\ S^{0.84}$	Carbon steel
Membrane separations				
Reverse osmosis, seawater	Purified water, Q, gal/day	2–50 million gal/day	$C_{BM} = \exp\{0.8020[\ln(Q)] + 0.01775[\ln(Q)]^2\}$	Bare-module cost
Reverse osmosis, brackish water	Purified water, Q, gal/day	0.2–14 million gal/day	$C_{BM} = 2.1\ Q$	Bare-module cost
Gas permeation	Membrane surface area, A, ft^2	—	$C_P = 35\ A$	Membrane module
Pervaporation	Membrane surface area, A, ft^2	—	$C_P = 30\ A$	Membrane module
Ultrafiltration	Membrane surface area, A, ft^2	—	$C_P = 8\ A$ to $20\ A$	Membrane cartridge
Mixers for powders, pastes, polymers and doughs				
Kneaders, tilting double arm	Volume, V, ft^3	10–56 ft^3	$C_P = 1{,}400\ V^{0.58}$	Carbon steel
Kneaders, sigma double arm	Volume, V, ft^3	20–380 ft^3	$C_P = 1{,}300\ V^{0.60}$	Carbon steel
Muller	Volume, V, ft^3	10–380 ft^3	$C_P = 11{,}000\ V^{0.56}$	Carbon steel
Ribbon	Volume, V, ft^3	25–320 ft^3	$C_P = 1{,}700\ V^{0.60}$	Carbon steel
Tumblers, double cone	Volume, V, ft^3	50–270 ft^3	$C_P = 2{,}700\ V^{0.42}$	Carbon steel
Tumblers, twin shell	Volume, V, ft^3	35–330 ft^3	$C_P = 1{,}200\ V^{0.60}$	Carbon steel
Power recovery turbines				
Gas expanders (pressure discharge)	Power extracted, P, Hp	20–5,000 Hp	$C_P = 420\ P^{0.81}$	Carbon steel
Gas expanders (vacuum discharge)	Power extracted, P, Hp	200–8,000 Hp	$C_P = 940\ P^{0.81}$	Carbon steel
Liquid expanders	Power extracted, P, Hp	150–2,000 Hp	$C_P = 1{,}100\ P^{0.70}$	Carbon steel
Screens				
Vibrating grizzlies	Surface area, A, ft^2	6–40 ft^2	$C_P = 4{,}600\ A^{0.34}$	Carbon steel
Vibrating screens, 1 deck	Surface area, A, ft^2	32–60 ft^2	$C_P = 1{,}100\ A^{0.71}$	Carbon steel
Vibrating screens, 2 decks	Surface area, A, ft^2	32–192 ft^2	$C_P = 970\ A^{0.78}$	Carbon steel
Vibrating screens, 3 decks	Surface area, A, ft^2	48–192 ft^2	$C_P = 700\ A^{0.91}$	Carbon steel
Size enlargement				
Disk agglomerators	Feed rate, F, lb/hr	800–80,000 lb/hr	$C_P = \exp\{10.4947 - 0.4915[\ln(F)] + 0.03648[\ln(F)]^2\}$	Carbon steel
Drum agglomerators	Feed rate, F, lb/hr	800–240,000 lb/hr	$C_P = \exp\{11.1885 - 0.5981[\ln(F)] + 0.04451[\ln(F)]^2\}$	Carbon steel
Pellet mills	Feed rate, F, lb/hr	800–80,000 lb/hr	$C_P = 5{,}500\ F^{0.11}$	Carbon steel
Pug mill extruders	Feed rate, F, lb/hr	80–40,000 lb/hr	$C_P = \exp\{9.2486 - 0.01453[\ln(F)] + 0.01019[\ln(F)]^2\}$	Carbon steel
Screw extruders	Feed rate, F, lb/hr	8–800 lb/hr	$C_P = \exp\{10.5546 + 0.02099[\ln(F)]^2\}$	Carbon steel
Roll-type presses	Feed rate, F, lb/hr	8,000–140,000 lb/hr	$C_P = 91\ F^{0.59}$	Carbon steel
Tableting presses	Feed rate, F, lb/hr	800–8,000 lb/hr	$C_P = \exp\{8.9188 + 0.1050[\ln(F)] + 0.01885[\ln(F)]^2\}$	Carbon steel

(Continu

Table 16.32 *(Continued)*

Equipment Type	Size Factor (S)	Range of S	f.o.b. Purchase Cost Equation ($)	Notes
Size reduction equipment				
Gyratory crushers	Feed rate, W, ton/hr	25–1,200 ton/hr	$C_P = 8{,}300\ W^{0.60}$	Includes motor and drive
Jaw crushers	Feed rate, W, ton/hr	10–200 ton/hr	$C_P = 1{,}800\ W^{0.89}$	Includes motor and drive
Cone crushers	Feed rate, W, ton/hr	20–300 ton/hr	$C_P = 1{,}400\ W^{1.05}$	Includes motor and drive
Hammer mills	Feed rate, W, ton/hr	2–200 ton/hr	$C_P = 3{,}000\ W^{0.78}$	Includes motor and drive
Ball mills	Feed rate, W, ton/hr	1–30 ton/hr	$C_P = 45{,}000\ W^{0.69}$	Includes motor and drive
Jet mills	Feed rate, W, ton/hr	1–5 ton/hr	$C_P = 27{,}000\ W^{0.39}$	Includes motor and drive
Solid–liquid separators				
Thickener, steel	Settling area, A, ft^2	80–8,000 ft^2	$C_P = 2{,}650\ A^{0.58}$	Carbon steel
Thickener, concrete	Settling area, A, ft^2	8,000–125,000 ft^2	$C_P = 1{,}900\ A^{0.58}$	Concrete
Clarifier, steel	Settling area, A, ft^2	80–8,000 ft^2	$C_P = 2{,}400\ A^{0.58}$	Carbon steel
Clarifier, concrete	Settling area, A, ft^2	8,000–125,000 ft^2	$C_P = 1{,}700\ A^{0.58}$	Concrete
Filters				
Plate-and-frame	Filtering area, A, ft^2	130–800 ft^2	$C_P = 3{,}800\ A^{0.52}$	Carbon steel
Pressure leaf	Filtering area, A, ft^2	30–2,500 ft^2	$C_P = 960\ A^{0.71}$	Carbon steel
Rotary-drum vacuum	Filtering area, A, ft^2	10–800 ft^2	$C_P = \exp\{11.432 - 0.1905[\ln(A)] + 0.0554[\ln(A)]^2\}$	Carbon steel
Rotary pan	Filtering area, A, ft^2	100–1,100 ft^2	$C_P = 19{,}500\ A^{0.48}$	Carbon steel
Wet classifiers (rake and spiral)	Solids feed rate, F, lb/hr	8,000–800,000 lb/hr	$C_P = 0.013\ F^{1.33}$	Carbon steel
Hydroclones	Liquid feed rate, Q, gal/min	8–1,200 gal/min	$C_P = 190\ Q^{0.50}$	Carbon steel
Centrifuges				
Batch top-drive vertical basket	Bowl diameter, D, in.	20–43 in.	$C_P = 1{,}600\ D^{0.95}$	Stainless steel
Batch bottom-drive vertical basket	Bowl diameter, D, in.	20–43 in.	$C_P = 680\ D^{1.00}$	Stainless steel
Vertical auto-batch	Bowl diameter, D, in.	20–70 in.	$C_P = 4{,}300\ D^{0.94}$	Stainless steel
Horizontal auto-batch	Bowl diameter, D, in.	20–43 in.	$C_P = 1{,}700\ D^{1.11}$	Stainless steel
Continuous reciprocating pusher	Tons solids/hr, S	1–20 tons solids/hr	$C_P = 120{,}000\ S^{0.30}$	Stainless steel
Continuous scroll solid bowl	Tons solids/hr, S	2–40 tons solids/hr	$C_P = 47{,}000\ S^{0.50}$	Stainless steel
Expression				
Screw presses	Wet solids flow rate, F, lb/hr	150–12,000 lb/hr	$C_P = \exp\{10.7951 - 0.3580[\ln(F)] + 0.05853[\ln(F)]^2\}$	Stainless steel
Roll presses	Wet solids flow rate, F, lb/hr	150–12,000 lb/hr	$C_P = \exp\{10.6167 - 0.4467[\ln(F)] + 0.06136[\ln(F)]^2\}$	Stainless steel
Solids handling systems				
Bins	Volume, ft^3	10–100,000 ft^3	$C_P = 450\ S^{0.46}$	Carbon steel at atmospheric pressure
Feeders				
Belt	Volumetric flow rate, ft^3/hr	120–500 ft^3/hr	$C_P = 565\ S^{0.38}$	Includes motor and belt drive
Screw	Volumetric flow rate, ft^3/hr	400–10,000 ft^3/hr	$C_P = 760\ S^{0.22}$	
Vibratory	Volumetric flow rate, ft^3/hr	40–900 ft^3/hr	$C_P = 32.4\ S^{0.90}$	Includes motor and belt drive
Conveyors				
Belt	width, W, in. Length, L, ft	14–60 in. up to 300 ft	$C_P = 16.9\ WL$	Does not include motor or drive
Screw	Diameter, D, in. Length, L, ft	6–20 in. up to 300 ft	$C_P = 55.6\ DL^{0.59}$	Does not include motor, drive, lid, or jacket
Vibratory	Width, W, in. Length, L, ft	12–36 in. up to 100 ft	$C_P = 64.3\ W^{0.57}\ L^{0.87}$	Does not include motor or drive
Bucket elevators	Bucket width, W, in. Height, L, ft	6–20 in. 15–150 ft	$C_P = 480\ W^{0.5}\ L^{0.57}$	Does not include motor or drive
Pneumatic conveyors	Solids flow rate, m, lb/s Equivalent length, L, feet	3–30 lb/s 30–600 ft	$C_P = 12{,}000\ m^{0.63}\ L^{0.20}$	Includes blower, motor, piping, rotary valve, and cyclone

(Continued)

Table 16.32 *(Continued)*

Equipment Type	Size Factor (S)	Range of S	f.o.b. Purchase Cost Equation ($)	Notes
Storage tanks				
Open	Volume, V, gal	1,000–30,000 gal	$C_P = 14\ V^{0.72}$	Fiberglass
Cone roof	Volume, V, gal	10,000–1,000,000 gal	$C_P = 210\ V^{0.51}$	Carbon steel, pressure to 3 psig
Floating roof	Volume, V, gal	30,000–1,000,000 gal	$C_P = 375\ V^{0.51}$	Carbon steel, pressure to 3 psig
Spherical, 0–30 psig	Volume, V, gal	10,000–1,000,000 gal	$C_P = 47\ V^{0.72}$	Carbon steel
Spherical, 30–200 psig	Volume, V, gal	10,000–750,000 gal	$C_P = 37\ V^{0.78}$	Carbon steel
Gas holders	Volume, V, ft^3	4,000–400,000 ft^3	$C_P = 2{,}500\ V^{0.43}$	Carbon steel, pressure to 3 psig
Vacuum systems				
One-stage jet ejector	(lb/hr)/(suction pressure, torr)	0.1–100 lb/hr-torr	$C_P = 1{,}330\ S^{0.41}$	See Table 16.31 for multistage units and condensers
Liquid-ring pumps	Flow at suction, ft^3/min	50–350 ft^3/min	$C_P = 6{,}500\ S^{0.35}$	Stainless steel with sealant recirculation
Three-stage lobe	Flow at suction, ft^3/min	60–240 ft^3/min	$C_P = 5{,}610\ S^{0.41}$	Includes intercoolers
Three-stage claw	Flow at suction, ft^3/min	60–270 ft^3/min	$C_P = 6{,}800\ S^{0.36}$	Includes intercoolers
Screw compressors	Flow at suction, ft^3/min	50–350 ft^3/min	$C_P = 7{,}560\ S^{0.38}$	With protective controls
Wastewater treatment				
Primary	Wastewater rate, Q, gal/min	75–75,000 gal/min	$C_{BM} = 11{,}700\ Q^{0.64}$	Bare-module cost
Primary + Secondary	Wastewater rate, Q, gal/min	75–75,000 gal/min	$C_{BM} = 34{,}000\ Q^{0.64}$	Bare-module cost
Primary + Secondary + Tertiary	Wastewater rate, Q, gal/min	75–75,000 gal/min	$C_{BM} = 69{,}000\ Q^{0.64}$	Bare-module cost

Priloga 3: Eksponentne zveze za nakupne cene procesnih enot[3]

	Unit	Unit Cost,* $	Size Exponent	Field Installation Factor,† M & L	L/M Ratio
Agitators					
Propellers	Hp.	350	0.50	1.62	0.27
Turbine	Hp.	750	0.30	1.62	0.27
Air compressors (cap.)					
125 psig. (cap.)	Cu. ft./min.	2,900	0.28	1.60	0.27
Air conditioners					
Window vent	Ea.	300	.....	1.12	0.12
Floor-mounted	Ea.	200	.....	1.12	0.12
Rooftop 10 ton	Ea.	3,800	.....	1.20	0.20
20	Ea.	6,500	.....	1.20	0.20
30	Ea.	8,100	.....	1.20	0.20
Air dryers (cap.)	Cu. ft./min.	200	0.56	1.74	0.37
Bagging machines (cap.)					
Weight	Bags/min.	3,300	0.80	1.45	0.11
Volume	Bags/min.	1,000	0.80	1.45	0.11
Blenders (cap.)	Cu./ft.	850	0.52	1.61	0.27
Blowers & fans (cap.)	Cu./ft.	7	0.68	1.59	0.25
Boilers (industrial)					
15 psig	Lb./hr.	400	0.50	1.50	0.26
150	Lb./hr.	440	0.50	1.50	0.26
300	Lb./hr.	500	0.50	1.50	0.26
600	Lb./hr.	560	0.50	1.50	0.26
Centrifuges					
Horizontal basket	Dia., in.	140	1.25	1.57	0.23
Vertical basket	Dia., in.	310	1.00	1.57	0.23
Solid bowl (SS)	Hp.	1,900	0.73	1.60	0.27
Sharples (SS)	Hp.	5,200	0.68	1.60	0.27
Conveyors (length)					
Belt,† 18 in. wide	Ft.	450	0.65	1.69	0.33
24	Ft.	540	0.65	1.69	0.33
36	Ft.	620	0.65	1.64	0.28
42	Ft.	700	0.65	1.64	0.28
48	Ft.	750	0.65	1.64	0.28
Bucket (height)					
30 tons/hr. (8 in. × 5 in.)	Ft.	220	0.65	1.84	0.44
75 tons/hr. (14 in. × 7 in.)	Ft.	400	0.83	1.84	0.44
120 tons/hr. (15 in. × 8 in.)	Ft.	500	0.83	1.84	0.44
Roller, 12 in. wide	Ft.	7	0.90	1.69	0.33
15	Ft.	8	0.90	1.69	0.33
18	Ft.	9	0.90	1.65	0.29
20	Ft.	10	0.90	1.65	0.29
Screw, 6 in. dia.	Ft.	230	0.90	1.59	0.25
12	Ft.	270	0.80	1.59	0.25
14	Ft.	290	0.75	1.59	0.25
16	Ft.	300	0.60	1.59	0.25
Vibrating, 12 in. wide	Ft.	80	0.80	1.64	0.28
18	Ft.	110	0.80	1.64	0.28
24	Ft.	120	0.90	1.60	0.26
36	Ft.	150	0.90	1.60	0.26
Cranes (cap.)					
Span 10 ft.	Tons	1,800	0.60	Field erected costs	
20	Tons	2,400	0.60		
30	Tons	3,800	0.60		
40	Tons	4,800	0.60		
50	Tons	6,300	0.60		
100	Tons	8,500	0.60		
Crushers (cap.)					
Cone	Tons/hr.	750	0.85	1.57	0.23
Gyratory	Tons/hr.	55	1.20	1.57	0.23
Jaw	Tons/hr.	85	1.20	1.57	0.25
Pulverizers	Lb./hr.	520	0.35	1.59	0.25
Crystallizers (cap.)					
Growth	Tons/day	5,500	0.65	1.75	0.38
Forced circulation	Tons/day	7,900	0.55	1.75	0.38
Batch	Gal.	170	0.70	1.60	0.26
Dryers (area)					
Drum	Sq. ft.	3,000	0.45	1.74	0.36
Pan	Sq. ft.	1,900	0.38	1.74	0.36
Rotary vacuum	Sq. ft.	3,100	0.45	1.74	0.36
Ductwork					
(Shop fabricated and field erected)					
Aluminum	Lin./ft.	5.42	0.55	Incl.	0.87
Galvanized	Lin./ft.	8.00	0.55	Incl.	0.84
Stainless	Lin./ft.	15.12	0.55	Incl.	0.44

[3] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

	Unit	Unit Cost,* $	Size Exponent	Field Installation Factor,▸ M & L	L/M Ratio
Dust collectors (cap.)					
Cyclones	Cu. ft./min.	3	0.80	1.69	0.32
Cloth filter	Cu. ft./min.	25	0.68	1.69	0.32
Precipitators	Cu. ft./min.	390	0.75	1.69	0.32
Ejectors (cap.)					
4 in. Hg suction	Lb./hr.	2,000	0.79	1.10	0.10
6	Lb./hr.	200	0.67	1.10	0.10
10	Lb./hr.	200	0.55	1.10	0.10
4-stage barometric					
2.5 mm. Hg suction	Lb./hr.	2,500	0.45	1.12	0.12
5.0	Lb./hr.	1,400	0.48	1.12	0.12
10.0	Lb./hr.	900	0.53	1.12	0.12
20.0	Lb./hr.	700	0.54	1.12	0.12
5-stage barometric					
0.5-mm. Hg suction	Lb./hr.	4,200	0.50	1.15	0.15
0.8	Lb./hr.	3,200	0.50	1.15	0.15
1.0	Lb./hr.	2,800	0.48	1.15	0.15
1.4	Lb./hr.	2,500	0.49	1.15	0.15
Elevators (height)					
Freight 3,000 lb	Ft.	3,600	0.32	Field erected costs	
5,000	Ft.	4,000	0.32		
10,000	Ft.	5,400	0.32		
Passenger 3,500 lb	Ft.	3,900	0.48		
Evaporators					
Forced circulation	Sq. ft.	6,000	0.70	1.90	0.35
Vertical tube	Sq. ft.	1,200	0.53	1.90	0.35
Horizontal tube	Sq. ft.	800	0.53	1.90	0.35
Jacketed vessel (glasslined)	Gal.	1,000	0.50	1.74	0.37
Filters (effective area)					
Plates and press	Sq. ft.	330	0.58	1.79	0.42
Pressure leaf-wet	Sq. ft.	410	0.58	1.79	0.42
dry	Sq. ft.	1,500	0.53	1.79	0.42
Rotary drum	Sq. ft.	1,400	0.63	1.60	0.27
Rotary disk	Sq. ft.	1,000	0.78	1.60	0.27
Flakers (effective area)					
Drum	Sq. ft.	1,300	0.64	1.59	0.25
Generator sets (portable)					
10 kw	Ea.	1,500	.....	.....	.....
15 kw	Ea.	2,000	.....	.....	.....
25 kw	Ea.	3,000	.....	.....	.....
50 kw	Ea.	5,000	.....	.....	.....
100 kw	Ea.	7,000	.....	.....	.....
Hoppers (cap.)					
Conical	Cu./ft.	1.0	0.68	1.04	0.04
Silos	Cu./ft.	0.9	0.90	1.10	0.10
Hydraulic presses (plate area)					
100 psig	Sq. ft.	2,500	0.95	1.74	0.36
300	Sq. ft.	3,600	0.95	1.74	0.36
500	Sq. ft.	5,000	0.95	1.74	0.36
1,000	Sq. ft.	6,200	0.95	1.74	0.36
Mills (cap.)					
Ball	Tons/hr.	550	0.65	1.70	0.34
Roller	Tons/hr.	5,000	0.65	1.70	0.34
Hammer	Tons/hr.	500	0.85	1.70	0.34
Screens (surface)					
vibrating single	Sq. ft.	900	0.58	1.32	0.18
double	Sq. ft.	1,100	0.58	1.32	0.18
Stacks (height)					
24 in. (CS)	Lin./ft	25.83	1.00	1.24	0.16
36 in. (CS)	Lin./ft.	58.20	1.00	1.24	0.16
48 in. (CS)	Lin./ft.	78.25	1.00	1.24	0.16
Tank heaters (area)					
Steam coil*	Sq. ft.	94.12	0.32	1.25	0.25
Immersion	Kw.	18.75	0.85	1.20	0.20
Weigh Scales					
Portable beam	Ea.	250	.....	.....	.....
dial	Ea.	1,500	.....	.....	.....
Truck 20 ton	Ea.	4,000	.....	1.08	0.08
50	Ea.	7,200	.....	1.08	0.08
75	Ea.	8,500	.....	1.08	0.08

* All unit costs are based on mid-1968. These are not general unit costs.
▸ Field installation included equipment foundations, electrical, paint and field labor. (No indirects) *Stainless factor 2.4
† For enclosed conveyors walkway multiply by 2.10

Priloga 4: Nakupne cene nekaterih procesnih enot[4]

a) Nakupna cena centrifugalne črpalke in elektromotorja

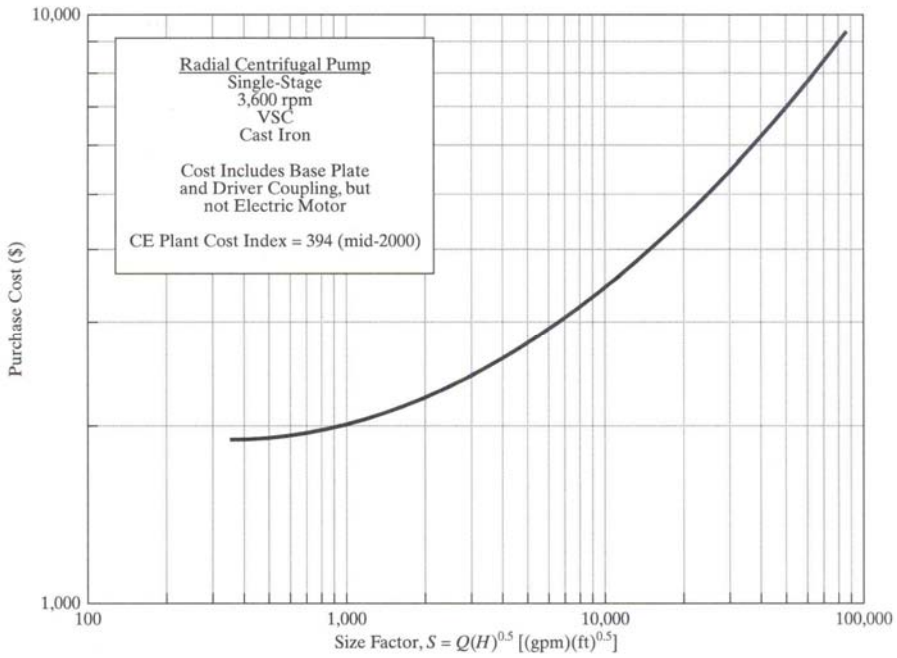


Figure 16.3 Base f.o.b. purchase cost for radial centrifugal pumps.

Nakupno ceno črpalke (brez elektromotorja) za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = q_v \sqrt{H} \tag{P1}$$

S velikostna spremenljivka za določitev cene
q_v volumski pretok (gpm - galona na minuto; 1 gpm = 3,785 l/min)
H črpalna višina (ft; 1 ft = 0,3048 m)

ali z enačbo:

$$c_n = \exp\left[9,2951 - 0,6019 \cdot \ln S + 0,0519 \cdot (\ln S)^2\right] \tag{P2}$$

Črpalna višina je:

$$H = \left(\frac{v_{tla}^2}{2g} + h_{tla} + \frac{p_{tla}}{\rho_{tla} g}\right) - \left(\frac{v_{ses}^2}{2g} + h_{ses} + \frac{p_{ses}}{\rho_{ses} g}\right) \tag{P3}$$

H črpalna višina (m)
v hitrost tekočine na tlačni (tla) oz. sesalni (ses) strani (m/s)
h višina tekočine na tlačni (tla) oz. sesalni (ses) strani (m)
p tlak tekočine na tlačni (tla) oz. sesalni (ses) strani (Pa)
ρ gostota (kg/m^3)
g težni pospešek (9,81 m/s^2)

[4] Vir: Seider W. D., Seader J. D., Lewin D. R. Product and process design principles: synthesis, analysis, and evaluation, 2nd ed.; Wiley: New York, 2004.

Korekcija za material:

	F_m		F_m
Lito železo	1,0	Hastelloy C	2,95
Lito jeklo	1,35	Monel	3,30
Bron	1,90	Nikelj	3,50
SS	2,0	Titan	9,70

Nakupna cena elektromotorja

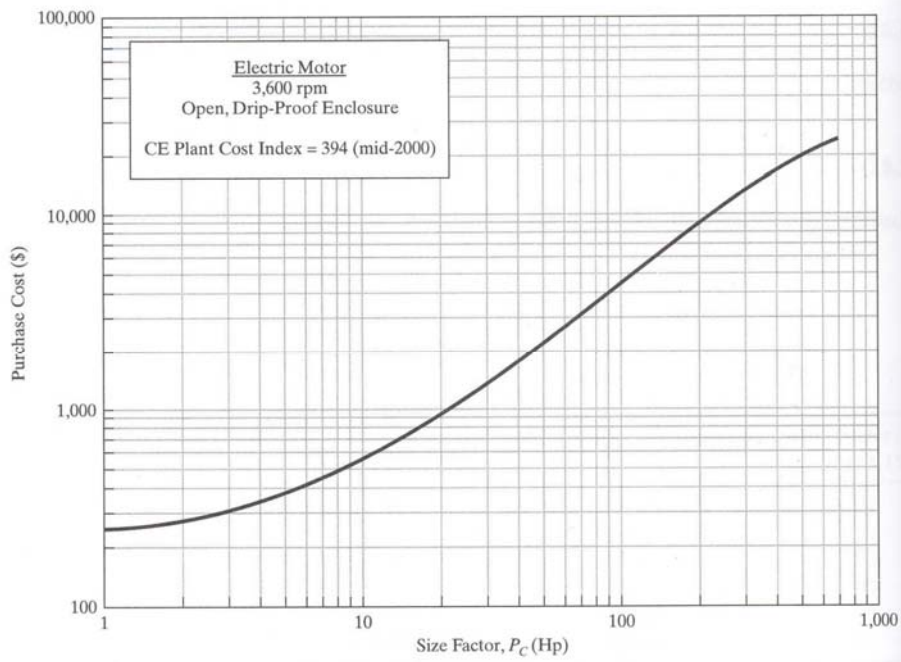


Figure 16.4 Base f.o.b. purchase cost for electric motors.

Nakupno ceno elektromotorja za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = P_C \tag{P4}$$

P_C moč elektromotorja (Hp)

ali z enačbo:

$$c_n = \exp\left[5,4866 - 0,13141 \cdot \ln P_C + 0,053255 \cdot (\ln P_C)^2 + \right.$$
$$\left. +0,028628 \cdot (\ln P_C)^3 - 0,0035549 \cdot (\ln P_C)^4\right] \tag{P5}$$

b) Nakupna cena kompresorja

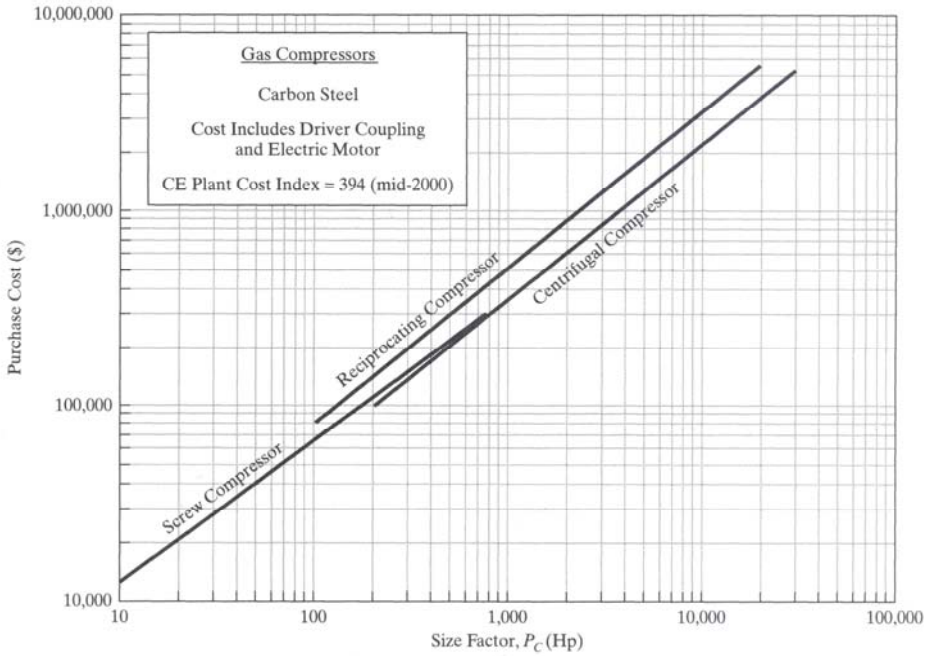


Figure 16.9 Base f.o.b. purchase costs for centrifugal, reciprocating, and screw compressors.

Nakupno ceno kompresorja (z elektromotorjem) za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = P_C \tag{P6}$$

P_C moč kompresorja (Hp)

ali z enačbami

za rotacijski kompresor (centrifugal compressor):

$$c_n = \exp\left[7,2223 + 0,8 \cdot \ln P_C\right] \tag{P7}$$

za batni kompresor (reciprocating compressor):

$$c_n = \exp\left[7,6084 + 0,8 \cdot \ln P_C\right] \tag{P8}$$

za vijačni kompresor (screw compressor):

$$c_n = \exp\left[7,7661 + 0,7243 \cdot \ln P_C\right] \tag{P9}$$

Korekcijski faktor za material, F_m, in za vrsto pogona, F_d:

	F_m		F_d
CS	1,0	Elektromotor	1
SS	2,5	Parna turbina	1,15
Ni jeklo	5,0	Plinska turbina	1,25

c) Nakupna cena cevnega toplotnega prenosnika

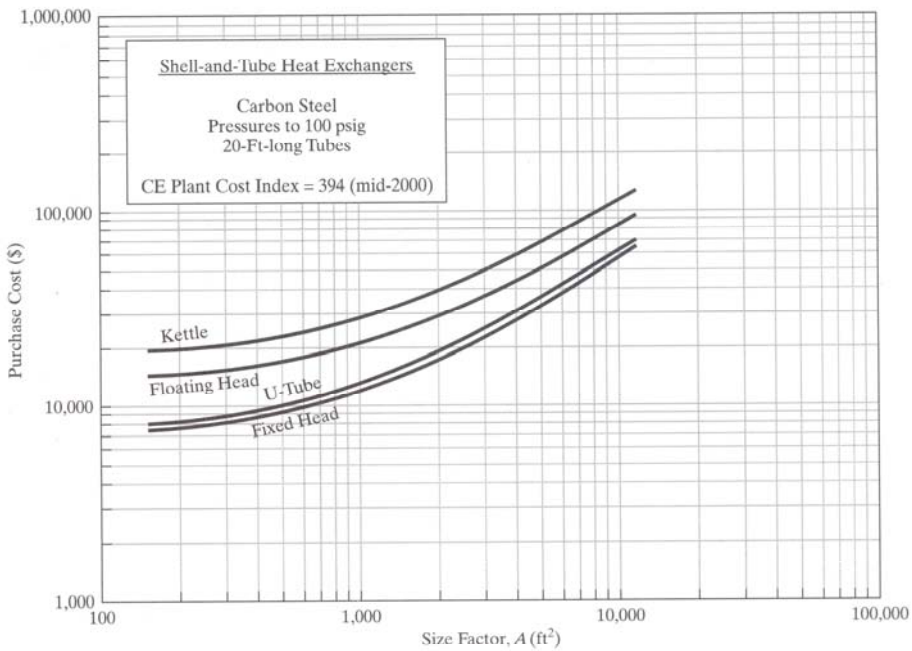


Figure 16.10 Base f.o.b. purchase costs for shell-and-tube heat exchangers.

Nakupno ceno cevnega toplotnega prenosnika za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = A \tag{P10}$$

A zunanja površina cevi (ft^2; 1 ft^2=0,0929 m^2)

ali z enačbami

za prenosnik s pomičnima pokrovoma (floating head):

$$c_n = \exp\left[11,667 - 0,8709 \cdot \ln A + 0,09005 \cdot (\ln A)^2\right] \tag{P11}$$

za prenosnik s fiksnima pokrovoma (fixed head):

$$c_n = \exp\left[11,0545 - 0,9228 \cdot \ln A + 0,09861 \cdot (\ln A)^2\right] \tag{P12}$$

za prenosnik z U cevmi (U-tube):

$$c_n = \exp\left[11,147 - 0,9186 \cdot \ln A + 0,09790 \cdot (\ln A)^2\right] \tag{P13}$$

za uparjalni kotel (kettle):

$$c_n = \exp\left[11,967 - 0,8709 \cdot \ln A + 0,09005 \cdot (\ln A)^2\right] \tag{P14}$$

Pri izračunu končne cene upoštevamo še morebitne korekcije za nestandardni material in za visok tlak. Končno nakupno ceno dobimo tako, da c_n pomnožimo s korekcijskima faktorjema za material, F_m in za tlak, F_p.

Korekcijski faktor za material izračunamo z enačbo:

$$F_{\mathrm{m}} = a + \left(\frac{A}{100}\right)^{b} \tag{P15}$$

a in b pa dobimo iz tabele:

Material ohišja/cevi	*a*	*b*
CS/CS	0,00	0,00
CS/medenina	1,08	0,05
CS/SS	1,75	0,13
CS/monel	2,10	0,13
CS/titan	5,20	0,16
CS/Cr-Mo jeklo	1,55	0,05
Cr-Mo jeklo/ Cr-Mo jeklo	1,70	0,07
SS/SS	2,70	0,07
Monel/monel	3,30	0,08
Titan/titan	9,60	0,06

Korekcija zaradi tlaka je dana z naslednjo enačbo za nadtlake od 100 psig do 2000 psig (7 bar do 138 bar):

$$F_{\mathrm{p}} = 0,9803 + 0,018\left(\frac{p}{100}\right) + 0,0017\left(\frac{p}{100}\right)^{2} \tag{P16}$$

p nadtlak (psig; 1 bar = 14,5 psig)

Nakupna cena toplotnega prenosnika z dvojno cevjo

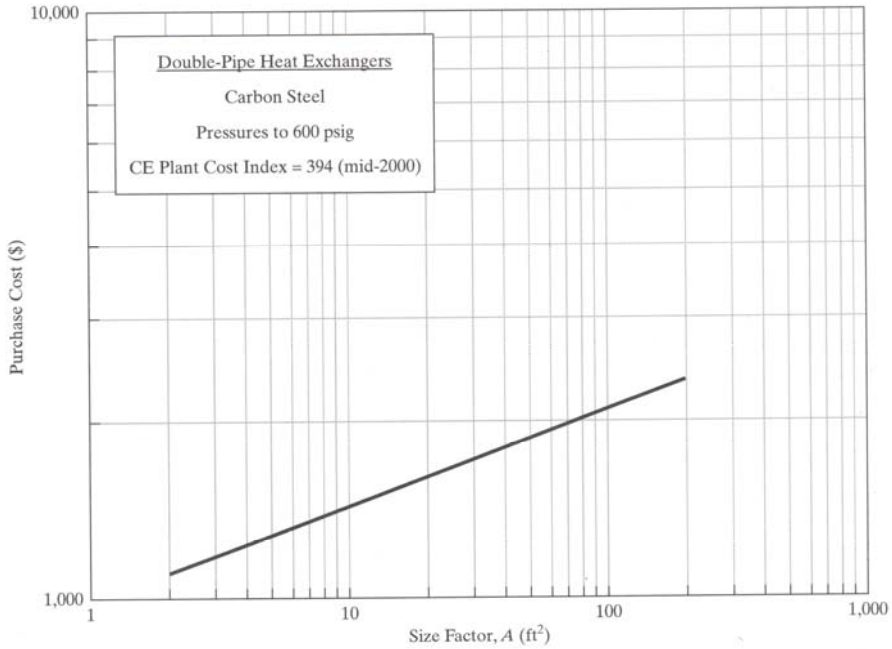


Figure 16.11 Base f.o.b. purchase costs for double-pipe heat exchangers.

Prenosnik z dvema cevema (double-pipe) uporabljamo za manjše prenosniške ploščine, 0,2 m^2 do 20 m^2.

Nakupno ceno za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = A \tag{P17}$$

A zunanja površina notranje cevi (ft^2)

ali z enačbo:

$$c_n = \exp\left[7{,}1248 + 0{,}16 \cdot \ln A\right] \tag{P18}$$

Korekcija za nadtlake od 600 psig do 3000 psig (41 bar do 207 bar):

$$F_p = 0{,}8510 + 0{,}1292\left(\frac{p}{600}\right) + 0{,}0198\left(\frac{p}{600}\right)^2 \tag{P19}$$

p nadtlak (psig; 1 bar = 14,5 psig)

Korekcija za material:
Zunanja cev CS in notranja cev CS: $F_m = 1{,}0$
Zunanja cev SS in notranja cev CS: $F_m = 2{,}0$
Zunanja cev SS in notranja cev SS: $F_m = 3{,}0$

d) Nakupna cena tlačnih posod in kolon

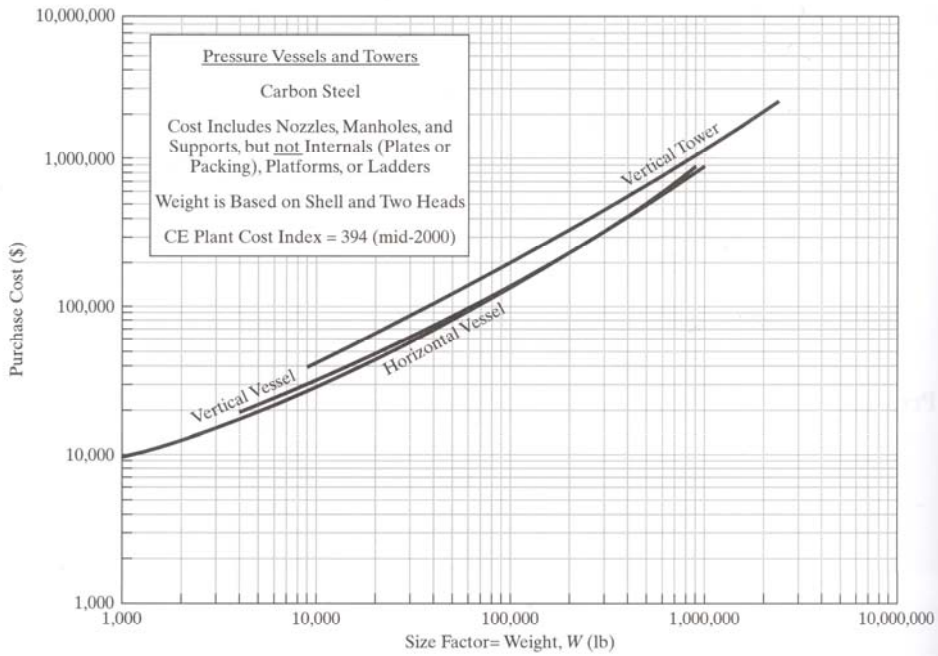


Figure 16.13 Base f.o.b. purchase costs for pressure vessels and towers.

Model vertikalne ali horizontalne posode se uporablja za kemijske reaktorje, zbiralnike obtoka, razpenjalnike, usedalnike, mešalne posode, posode za adsorpcijo, hranilnike itd. Cena običajno vključuje prazen valj, na katerega sta privarjena eliptično dno in pokrov posode, zraven tega pa še nastavke za vtoke in iztoke (nozzles), odprtine za dostop do notranjosti (manholes), povezave za varnostne ventile in instrumente ter nosilno konstrukcijo (saddles for support). Cena se razlikuje za navpično oz. vodoravno postavitev posode.

Nakupno ceno posod in kolon za leto 2000 določimo z enačbo:

$$c_{\mathrm{n}} = F_{\mathrm{m}} c_{\mathrm{pos}} + c_{\mathrm{plo}} \qquad \text{(P20)}$$

F_m faktor materiala (1 za ogljikovo jeklo)
c_{pos} cena posode ali kolone, ki jo določimo iz zgornjega diagrama za leto 2000
c_{plo} cena ploščadi in lestev (platforms and ladders)

<u>Ceno posode</u>, c_{pos}, določimo iz zgornjega diagrama za navpično (vertical vessel) ali vodoravno (horizontal vessel) postavitev za velikostno spremenljivko:

$$S = W \qquad \text{(P21)}$$

W masa posode z dnom in pokrovom (lb, 1 lb = 0,4536 kg)

Masa posode se izračuna z enačbo:

$$m = \pi \cdot (D + d) \cdot (H + 0{,}8 \cdot D)\, d\, \rho \qquad \text{(P22)}$$

m masa posode z dnom in pokrovom (kg)
D notranji premer posode (m)
H višina posode (m)
d debelina stene (m)
ρ gostota materiala, iz katerega je posoda; npr. za ogljikovo jeklo ρ_{CS}=7850 kg/m^3

Namesto iz diagrama, lahko dobimo ceno posode tudi z enačbama:

za vodoravno postavljeno posodo (mase od 450 kg do 417 300 kg):

$$c_{\text{pos}} = \exp\left[8,717 - 0,2330 \cdot \ln W + 0,04333 \cdot (\ln W)^2\right] \tag{P23}$$

za navpično postavljeno posodo (mase od 1900 kg do 453 600 kg):

$$c_{\text{pos}} = \exp\left[6,775 + 0,18255 \cdot \ln W + 0,02297 \cdot (\ln W)^2\right] \tag{P24}$$

Cena ploščadi in lestev

za vodoravno posodo premera 3 ft do12 ft (0,9 m – 3,6 m):

$$c_{\text{plo}} = 1,580 \cdot D^{0,20294} \tag{P25}$$

za navpično posodo premera 3 ft do 21 ft (0,9 m – 6,4 m) in višine 12 ft do 40 ft (3,6 m – 12 m):

$$c_{\text{plo}} = 285,1 \cdot D^{0,73960} \cdot H^{0,70684} \tag{P26}$$

D notranji premer posode (ft; 1 ft = 0,3048 m)
H višina posode (ft)

Korekcija materiala

	F_m		F_m
CC	1,0	Nikelj 200	5,4
Jeklo	1,2	Monel 400	3,6
SS 304	1,7	Inconel 600	3,9
SS 316	2,1	Incoloy 825	3,7
Carpenter 20CB-3	3,2	Titan	7,7

Ceno kolon (vertical tower) določimo iz zgornjega diagrama za isto velikostno spremenljivko, t.j. maso kolone, *W*, v lb,

ali z enačbo za maso 9000 lb do 2 500 000 lb (4 t do 1100 t):

$$c_{\text{pos}} = \exp\left[7,0374 + 0,18255 \cdot \ln W + 0,02297 \cdot (\ln W)^2\right] \tag{P27}$$

Cena ploščadi in lestev za kolono

za kolono premera 3 ft do 24 ft (0,9 m –7,3 m) in višine 27 ft do 170 ft (8 m – 52 m):

$$c_{\text{plo}} = 237,1 \cdot D^{0,63316} \cdot H^{0,80161} \tag{P28}$$

D notranji premer posode (ft)
H višina posode (ft)

Cena prekatov v koloni

Navpični stolpi za destilacijo, absorpcijo in striping so polnjeni s prekati (trays, plates) ali polnili (packing). Ceno prekatov določimo z enačbo:

$$c_{\text{prek}} = N \cdot F_{\text{N}} F_{\text{t}} F_m c_{\text{os,pre}} \tag{P29}$$

c_{prek} cena prekatov za leto 2000
N število prekatov
F_N korekcijski faktor, če je $N < 20$
F_t korekcijski faktor za vrsto prekatov
F_m korekcijski faktor za material
N število prekatov
$c_{os,pre}$ osnovna cena prekatov

Postavke gornje enačbe dobimo z naslednjimi izračuni oz. tabelami:

$$c_{os,pre} = 369 \cdot \exp(0,1739 \cdot D) \tag{P30}$$

D premer kolone (ft) – med 2 ft do 16 ft (0,6 m do 5 m)

Korekcijski faktor F_N je odvisen o števila prekatov, N. Če je $N > 20$, je vrednost faktorja 1. Če je $N < 20$, izračunamo vrednost faktorja z enačbo:

$$F_N = \frac{2,25}{1,0414^N} \tag{P31}$$

Faktor za vrsto prekatov določimo iz tabele:

Vrsta prekata	F_t
Sita (sieve)	1,00
Ventili (valve)	1,18
Zvonci (bubble cup)	1,87

Faktor za material, iz katerega so prekati, določimo iz tabele:

Material	F_m (za D v ft)
Ogljikovo jeklo (carbon steel)	1,0
Nerjavno jeklo (303 stainless steel)	$1,189+0,0577 \cdot D$
Nerjavno jeklo (316 stainless steel)	$1,401+0,0724 \cdot D$
Karpenter nerjavno jeklo (carpenter 20CB-3)	$1,525+0,0788 \cdot D$
Monel	$2,306+0,1120 \cdot D$

Cena polnil v v koloni

Velikost	Cena polnil ($/ft^3)				
	1 in (2,54 cm)	1,5 in (3,81 cm)	2 in (5 cm)	3 in (7,6 cm)	4 in (10 cm)
Berlovi obročki					
Keramični	38	29	22		
Raschingovi obročki					
CS	43	32	27	21	
SS	142	110	87	50	
Keramični	21	17	15	12	
Intalox sedla					
Keramična	27	22	19	15	
Polipropilen	29		18	9	
Pall obročki					
CS	39	29	25		
SS	133	102	87		
Polipropilen	29	21	17	13	
Kaskadni mini obročki					
SS	106		75	55	41
Keramični	71		55	44	
Polipropilen	71		55	44	
Tellerettes					
Polietilen	60				

e) Nakupna cena peči

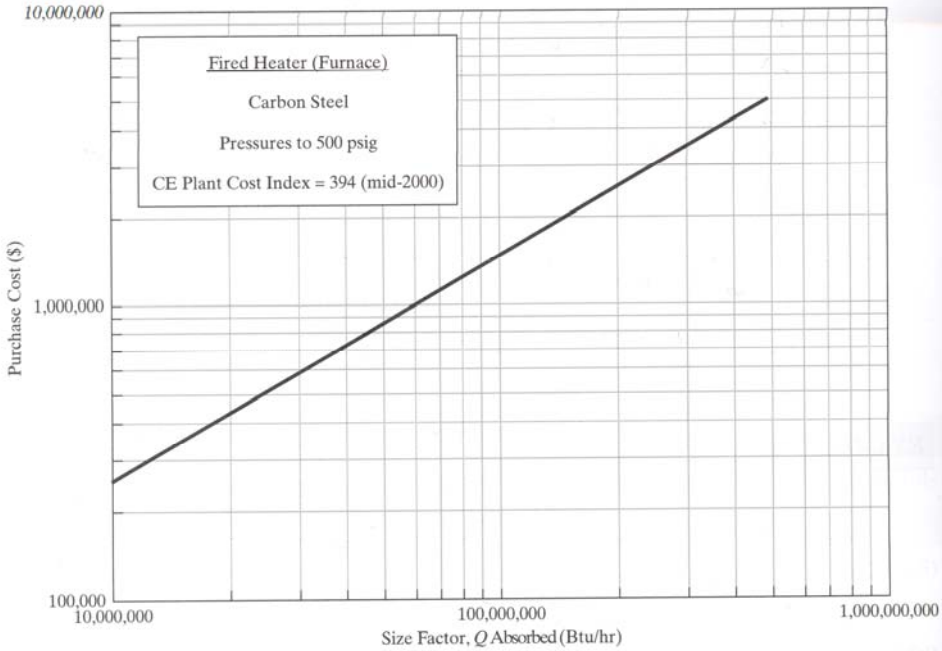


Figure 16.12 Base f.o.b. purchase costs for indirect-fired heaters of the box type.

V to skupino štejemo naprave za visokotemperaturno gretje, ki uporabljajo produkte nastale pri zgorevanju plina ali mazuta (furnaces, fired heaters, process heaters)

Nakupno ceno za leto 2000 določimo iz zgornjega diagrama za velikostno spremenljivko:

$$S = Q \tag{P32}$$

Q absorbirana toplota (Btu/h; 1 Btu/h = 0,29307 W)

- običajne vrednosti absorbirane toplote so od 10 MBtu/h do 340 MBtu/h oz. od 3 MW do 100 MW)

ali z enačbo:

$$c_{\mathrm{n}} = \exp\left[0,08505 + 0,766 \cdot \ln Q\right] \tag{P33}$$

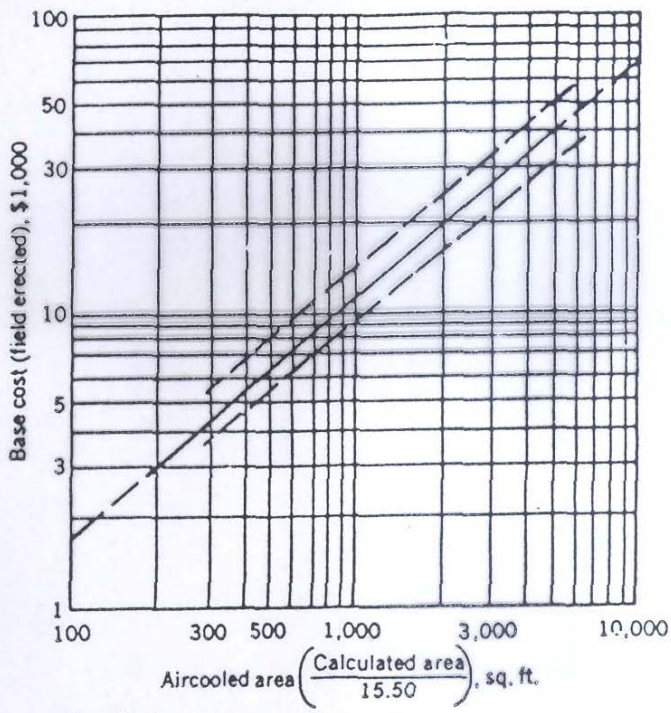
Korekcija za material:
Cevi iz Cr-Mo jekla: $F_{\mathrm{m}} = 1,4$
Cevi iz SS: $F_{\mathrm{m}} = 1,7$

Korekcija za nadtlake od 500 psig do 3000 psig (35 bar do 207 bar):

$$F_{\mathrm{p}} = 0,986 - 0,0035\left(\frac{p}{500}\right) + 0,0175\left(\frac{p}{500}\right)^2 \tag{P34}$$

p nadtlak (psig; 1 bar = 14,5 psig)

Priloga 5: Nakupna cena zračnega hladilnika[5]



Required	Exponent
Surface area, sq. ft.	Size exponent 0.80
Design pressure, psig.	
Tube material	Included
	Tube bundle
Basis of chart	Fan and motor
Carbon steel tubes	Casing, structure
Motor drive	Stairways, steel
Individual construction	Field erection
	Subcontractor indirects

Time base
Mid-1968

Air Cooler Cost, $ = Base cost $(F_p + F_t + F_m)$

Adjustment factors

Pressure Rating, bar	F_p	Tube Length, m	F_t*	Tube Material	F_m
10	1.00	5	0.00	Carbon steel	0.00
17	1.05	6	0.05	Aluminium	0.50
35	1.10	7.5	0.10	Stainless	1.85
70	1.15	10	0.15	Monel	2.20

* If these factors are used individually, add 1.00 to the above values.

[5] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

Priloga 6: Langovi faktorji[6]

Table 16.17 Breakdown of Lang Factors by Peters and Timmerhaus (1968)

	Percent of Delivered-Equipment Cost for		
	Solids Processing *Plant*	Solids–fluids Processing *Plant*	Fluids Processing *Plant*
Delivered cost of process equipment	100	100	100
Installation	45	39	47
Instrumentation and controls	9	13	18
Piping	16	31	66
Electrical	10	10	11
Buildings (including services)	25	29	18
Yard improvements	13	10	10
Service facilities	40	55	70
Land	6	6	6
Total direct plant cost	264	293	346
Engineering and supervision	33	32	33
Construction expenses	39	34	41
Total and indirect plant costs	336	359	420
Contractor's fee	17	18	21
Contingency	34	36	42
Fixed capital investment	387	413	483
Lang factor, $f_{L_{FI}}$, for use in Eq. (16.9)	3.9	4.1	4.8
Working capital	68	74	86
Total capital investment	455	487	569
Lang factor, $f_{L_{TCI}}$, for use in Eq. (16.10)	4.6	4.9	5.7

[6] Vir: Seider W. D., Seader J. D., Lewin D. R. Product and process design principles: synthesis, analysis, and evaluation, 2nd ed.; Wiley: New York, 2004.

Priloga 7: Eksponentne zveze za investicijo v osnovna sredstva[7]

TABLE 9-48 Capital-Cost Data for Processing Plants*

Product	Process route	Size, 1000 metric tons/year	Approximate cost† $\$ \times 10^6$	Total capital cost ($) metric ton/yr of product	Size range 1000 metric tons/year	Exponent n‡
			Chemical plants			
Acetaldehyde	Ethylene	50	13.7	274	20–150	0.70
Acetic acid	Methanol/CO	10	6.6	660	3–30	0.68
Acetone	Propylene	100	35.0	350	30–300	0.45
Ammonia	Steam reforming	100	26.0	260	30–300	0.70
Ammonium nitrate	Ammonia/nitric acid	100	6.0	60	30–300	0.65
Butanol	Propylene/CO/H_2O	50	44.0	880	20–150	0.40
Chlorine	Electrolysis of NaCl	50	31.0	620	20–150	0.45
Ethylene	Refinery gases	50	14.4	288	20–150	0.83
Ethylene oxide	Ethylene/O_2	50	55.0	1100	20–150	0.78
Formaldehyde (37%)	Methanol	10	17.7	1770	3–30	0.55
Glycol	Ethylene/Cl_2	5	16.6	3320	2–20	0.75
Hydrofluoric acid	Hydrogen fluoride/H_2O	10	8.8	880	3–30	0.68
Methanol	CO_2/natural gas/steam	60	14.4	240	20–200	0.60
Nitric acid (conc.)	Ammonia oxidation	100	6.6	66	30–300	0.60
Phosphoric acid	Calcium phosphate/H_2SO_4	5	3.3	660	2–20	0.60
Polyethylene (high density)	Ethylene	5	17.7	3540	2–20	0.65
Propylene	Refinery gases	10	3.3	330	3–30	0.70
Sulfuric acid	Sulfur	100	3.3	33	30–300	0.65
Urea	Ammonia/CO_2	60	8.8	147	20–200	0.70
			Refinery units			
Alkylation (H_2SO_4)	Catalytic	10	21.0	2100	3–30	0.60
Coking (delayed)	Thermal	10	28.8	2880	3–30	0.38
Coking (fluid)	Thermal	10	17.7	1770	3–30	0.42
Cracking (fluid)	Catalytic	10	17.7	1770	3–30	0.70
Cracking	Thermal	10	5.5	550	3–30	0.70
Distillation (atm)	65% vaporized	100	35.4	354	30–300	0.90
Distillation (vac.)	65% vaporized	100	21.0	210	30–300	0.70
Hydrotreating	Catalytic desulfurization	10	3.3	330	3–30	0.65
Reforming	Catalytic	10	32.0	3200	3–30	0.60
Polymerization	Catalytic	10	5.5	550	3–30	0.58

*Adapted from M. S. Peters and K. D. Timmerhaus, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1991.
†All costs are approximate U.S.A. values with M & S = 1000, assuming 330 operating days per year.
‡Exponents apply roughly for threefold capacity ratio extending either way from the plant size given.

[7] Vir: Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, 1997.

Priloga 8: Izračun cene montirane posode[8]

Field installation modules

Vertical fabrication

Module	5A (V)	5B (V)	5C (V)	5D (V)	5E (V)
Base dollar magnitude, $100,000	Up to 2	2 to 4	4 to 6	6 to 8	8 to 10
Equipment fob. cost, E	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Piping	60.0	59.6	59.5	59.4	59.3
Concrete	10.0	9.9	9.8	9.8	9.8
Steel	8.0	7.9	7.8	7.8	7.8
Instruments	11.5	11.5	11.4	11.3	11.3
Electrical	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9
Insulation	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Paint	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Field materials, m	103.8	103.1	102.7	102.5	102.4
Direct material, $E + m = M$	203.8	203.1	202.7	202.5	202.4
Material erection	84.0	83.5	83.2	83.0	82.9
Equipment setting	15.2	14.9	14.0	13.5	13.2
Direct field labor, L	99.2	98.5	97.2	96.5	96.1
Direct M & L cost	303.0	301.6	299.9	299.0	298.5
Freight, insurance taxes	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Indirect cost	112.0	102.5	98.9	98.7	95.5
Bare module cost	423.0	412.1	406.8	405.7	402.0
L/M ratios	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46
Material factor, $E + m$	2.04	2.03	2.03	2.02	2.02
Direct cost factor, M & L	3.03	3.02	3.00	2.99	2.98
Indirect factor	0.37	0.34	0.33	0.33	0.32
Module factor (norm)	4.23	4.12	4.07	4.06	4.02

Note: All data are based on 100 for equipment, E.
Dollar magnitudes are based on carbon steel.

Field installation modules

Horizontal fabrication

Module	5A (H)	5B (H)	5C (H)	5D (H)	5E (H)
Base dollar magnitude, $100,000	Up to 2	2 to 4	4 to 6	6 to 8	8 to 10
Equipment fob. cost, E	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Piping	41.1	40.1	39.7	39.4	39.2
Concrete	6.2	6.1	6.0	5.9	5.9
Steel	–	—	–	–	–
Instruments	6.2	6.1	6.0	5.9	5.9
Electrical	5.2	5.1	5.0	5.0	5.0
Insulation	5.2	5.1	5.0	5.0	5.0
Paint	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Field materials, m	64.5	63.0	62.2	61.7	61.5
Direct material, $E + m = M$	164.5	163.0	162.2	161.7	161.5
Material erection	52.2	51.0	50.4	50.0	49.8
Equipment setting	9.3	8.3	7.7	7.2	7.0
Direct field labor, L	61.5	59.3	58.1	57.2	56.8
Direct M & L cost	226.0	222.3	220.3	219.0	218.3
Freight, insurance, taxes	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Indirect cost	83.6	75.6	72.7	72.3	69.8
Bare module cost	317.6	305.9	301.0	299.3	296.1
L/M ratios	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35
Material factor, $E + m$	1.64	1.63	1.62	1.62	1.61
Direct cost factor, M & L	2.26	2.22	2.20	2.19	2.18
Indirect factor	0.37	0.34	0.33	0.33	0.32
Module factor (norm)	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96

Note: All data are based on 100 for equipment, E.
Dollar magnitudes are based on carbon steel.

Process Vessel Cost, $ = [Base cost × F_m × F_p]Index

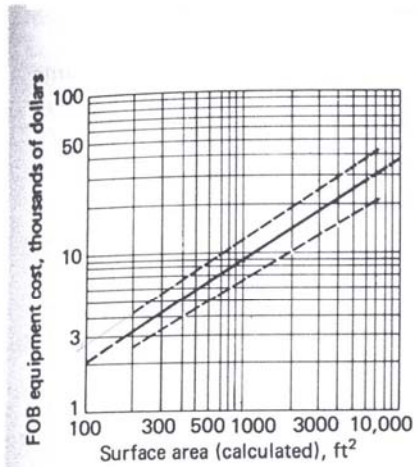
Adjustment factors

Shell Material	F_m Clad	F_m Solid
Carbon steel	1.00	1.00
Stainless 316	2.25	3.67
Monel	3.89	6.34
Titanium	4.23	7.89

Pressure Factor Psi.	F_p
Up to 50	1.00
100	1.05
200	1.15
300	1.20
400	1.35
500	1.45
600	1.60
700	1.80
800	1.90
900	2.30
1,000	2.50

[8] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

Priloga 9: Izračun cene montiranega toplotnega prenosnika[9]



Required:
- Surface area, ft^2
- Design type
- Tube, shell material
- Design pressure
- Design temperature

Time base: mid-1968

Size exponent: 0.65

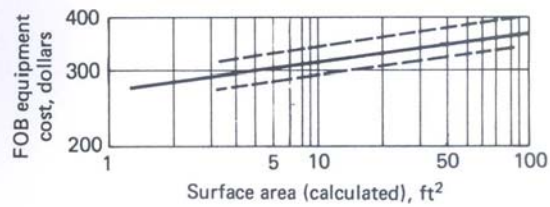
Included: Complete fabrication

Basis of chart:
- Floating head
- Carbon steel construction
- Design pressure, 150 psi

Field installation modules

Module	3A	3B	3C	3D	3E
Base dollar magnitude, $100,000	Up to 2	2 to 4	4 to 6	6 to 8	8 to 10
Equipment FOB cost, *E*	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Piping	45.6	45.1	44.7	44.4	44.3
Concrete	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0
Steel	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
Instruments	10.2	10.1	10.0	9.9	9.8
Electrical	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Insulation	4.9	4.8	4.7	4.7	4.7
Paint	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Field materials, *m*	71.4	70.5	69.9	69.5	69.3
Direct material, $E + m = M$	171.4	170.5	169.9	169.5	169.3
Material erection	55.4	54.7	54.2	53.9	53.8
Equipment setting	7.6	6.5	5.9	5.5	5.2
Direct field labor, *L*	63.0	61.2	60.1	59.4	59.0
Direct *M* & *L* cost	234.4	231.7	230.0	228.9	228.3
Freight, insurance, taxes	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Indirect cost	86.7	78.8	75.9	75.5	73.0
Bare module cost	329.1	318.5	313.9	312.4	309.5
L/*M* ratios	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35
Material factor, $E + M$	1.71	1.70	1.70	1.69	1.69
Direct cost factor, *M* & *L*	2.34	2.32	2.30	2.29	2.28
Indirect factor	0.37	0.34	0.33	0.33	0.32
Module factor (norm)	3.29	3.18	3.14	3.12	3.09

Note: All data are based on 100 for equipment, *E*.
Dollar magnitudes are based on carbon steel.



Exchanger cost, $ = base cost $(F_d + F_p) \times F_m$

Adjustment factors:

Design Type	F_d
Kettle, reboiler	1.35
Floating head	1.00
U tube	0.85
Fixed tube sheet	0.80

Design Pressure, psi	F_p*
Up to 150	0.00
300	0.10
400	0.25
800	0.52
1000	0.55

*If these factors are used individually, add 1.00 to these values.

Double-pipe exchanger costs (for process requirements less than 100 ft^2.)

Adjustment factors:

Material:	CS/CS = 1.0, CS/SS = 1.85	
Pressure:	up to 600 psi	1.00
	900	1.10
	1000	1.25

Module factors:

Field installation	1.35
Module factor (norm)	1.83

Shell/tube materials, F_M:

Surface area, Ft^2	CS/ CS	CS/ Brass	CS/ Mo	CS/ SS	SS/ SS	CS/ Monel	Monel/ Monel	CS/ Ti	Ti/ Ti
Up to 100	1.00	1.05	1.60	1.54	2.50	2.00	3.20	4.10	10.28
100 to 500	1.00	1.10	1.75	1.78	3.10	2.30	3.50	5.20	10.60
500 to 1,000	1.00	1.15	1.82	2.25	3.26	2.50	3.65	6.15	10.75
1,000 to 5,000	1.00	1.30	2.15	2.81	3.75	3.10	4.25	8.95	13.05
5,000 to 10,000	1.00	1.52	2.50	3.52	4.50	3.75	4.95	11.10	16.60

[9] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

Priloga 10: Izračun cene montiranega kompresorja[10]

Field installation modules

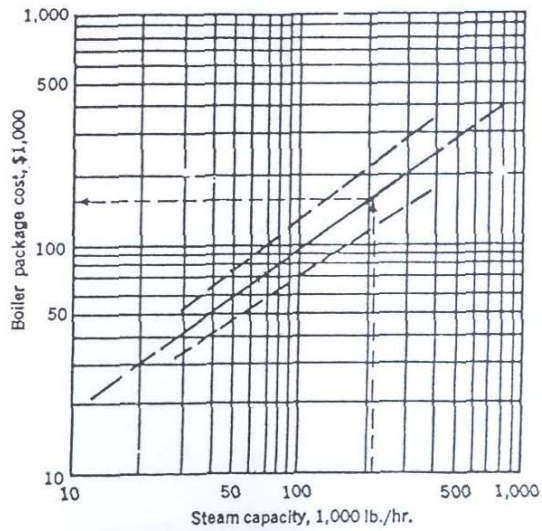
Module	8A	8B	8C	8D	8E
Base dollar magnitude, $100,000	Up to 2	2 to 4	4 to 6	6 to 8	8 to 10
Equipment fob. cost, *E*	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Piping	20.6	20.2	20.1	20.0	19.9
Concrete	12.3	12.1	12.0	11.9	11.9
Steel	–	–	–	–	–
Instruments	8.2	8.0	8.0	8.0	8.0
Electrical	15.4	15.2	15.0	14.9	14.8
Insulation	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5
Paint	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Field materials, *m*	59.6	58.6	58.1	57.8	57.6
Direct material, *E* + *m* = *M*	159.6	158.6	158.1	157.8	157.6
Material erection	49.8	49.0	48.5	48.0	47.8
Equipment setting	11.6	10.9	10.7	10.5	10.4
Direct field labor, *L*	61.4	59.9	59.7	58.5	58.2
Direct *M* & *L* cost	221.0	218.5	217.3	216.3	215.8
Freight, insurance, taxes	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Indirect cost	81.8	74.3	71.7	71.4	69.1
Bare module cost	310.8	300.8	297.0	295.7	292.9
L/*M* ratios	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37
Material factor, *E* + *m*	1.59	1.58	1.58	1.58	1.57
Direct cost factor, *M* & *L*	2.21	2.18	2.17	2.16	2.16
Indirect factor	0.37	0.34	0.33	0.33	0.32
Module factor (norm)	3.11	3.01	2.97	2.96	2.93

Note: All data are based on 100 for equipment, *E*.
Dollar magnitudes are based on carbon steel.

Process gas compressors and drivers—Fig. 8

[10] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

Priloga 11: Izračun cene parnega kotla[11]



Required
Generating capacity, lb./hr.
Steam pressure, psig.
Superheat, °F.

Basis of chart
Saturated steam

Time base
Mid-1968

Exponent
Size exponent 0.70

Included
Complete boiler with FD fans, instruments, controls, burners, sootblowers
Boiler feed pumps
Feedwater deaerator
Gas/oil firing
Chem. injection system
Stack
Shop assembly

Package Boiler Cost, $ = [Base cost(F_p + F_s)]Index

Adjustment factors

Steam Pressure, Psi.	F_p	Superheat, °F.	F_s*
250	1.00	Sat.	0.00
300	1.05	100	0.10
400	1.25	200	0.15
600	1.70	300	0.20

Installation (Prime contractor work only)

Field installation (*M & L*)	1.35
Bare module factor	1.83
L/M ratio	0.13

*If these factors are used individually, add 1.00 to the above values.

Packaged boiler units—Fig. 10

[11] Vir: Guthrie, K. M. Capital Cost Estimating. *Chem. Eng.-New York* **1969**, *76*, 114.

Priloga 12: Potrebno število delavcev[12]

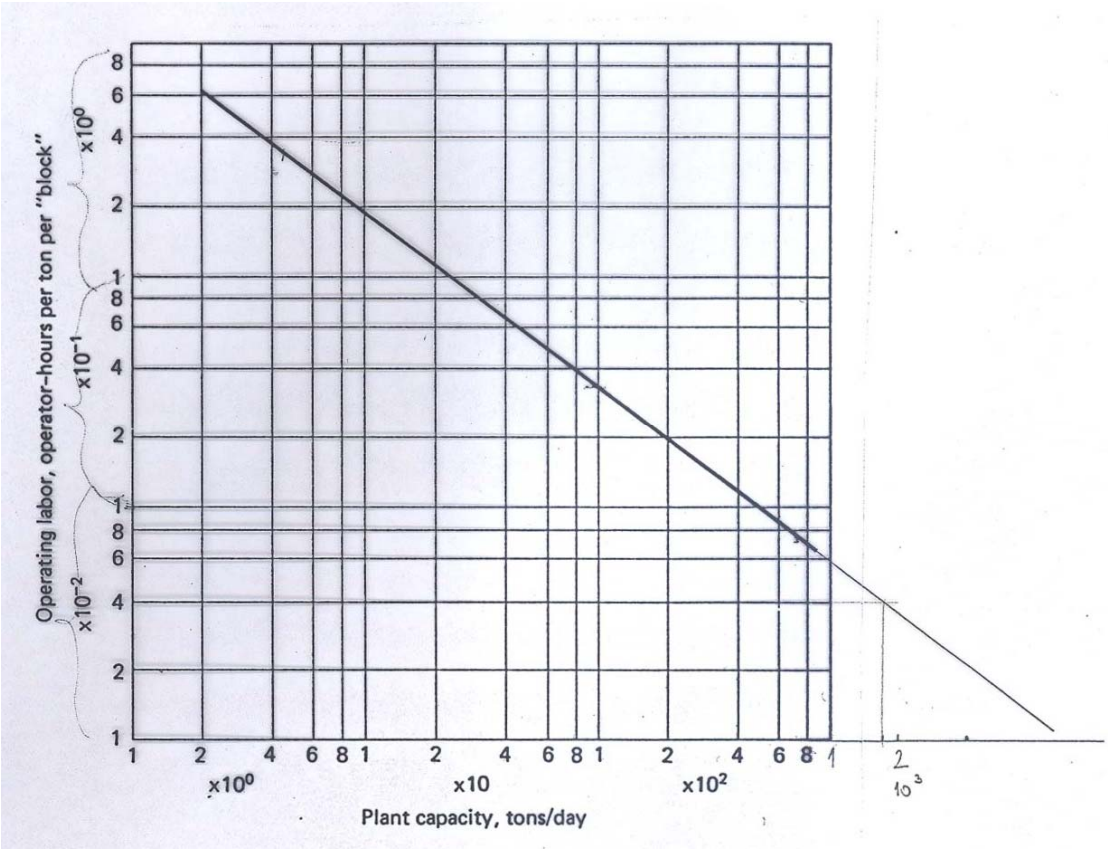
TABLE 21
Typical labor requirements for process equipment

Type of equipment	Workers/ unit/ shift
Dryer, rotary	$\frac{1}{2}$
Dryer, spray	1
Dryer, tray	$\frac{1}{2}$
Centrifugal separator	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$
Crystallizer, mechanical	$\frac{1}{6}$
Filter, vacuum	$\frac{1}{8}-\frac{1}{4}$
Evaporator	$\frac{1}{4}$
Reactor, batch	1
Reactor, continuous	$\frac{1}{2}$
Steam plant (100,000 lb/h)	3

Item	Operator-hours per shift
Reactor, batch	8.0
Crystallizer	1.0
Filter, rotary	2.0
Tray dryer	4.0
	15.0
Say, two operators per shift	

[12] Vir: neznan

Priloga 13: Wesselova korelacija[13]



[13] Vir: Valle-Riestra, J. F. *Project Evaluation in the chemical process industries*; McGraw-Hill: New York, 1983.