

**Slika 8.17** Opružna konstanta preše ( $C_{preša}$ ), alata ( $C_{alat}$ ) te cjeline stroj - alat ( $C_{uk}$ ) kao funkcija nominalne sile preše  $F_N$  kod protusmjernog istiskivanja posude /8.12/.

#### 8.1.4 Zaključno o značajnim parametrima preša i batova

Istaknute značajke preša i batova dane su u tablici 8.1. Broj dotičnih je moguće znatno povećati zavisno o području primjene i načinima upravljanja pojedinim obradnim strojem. kao primjer moguće je navesti značajku sile pričvršćivanja u horizontalnih kovačkih strojeva za kovanje u toplom stanju, značajku sile tlačnog prstena kod dubokog vučenja te značajku sile izbacivača kod npr. hladnog kovanja.

## 8.2 BATOVI

Batovi su najjeftiniji obradni strojevi za oblikovanje metala. U materijal unose zagarantirani iznos energije koji, zavisno o brzini alata tijekom oblikovanja, daje veći ili manji iznos sile. Brzine u trenutku sraza su visoke i kreću se u rasponu od 3 do 8 m/s. Konstrukcija batova treba biti u stanju podnijeti velika i po načinu djelovanja neugodna, udarna opterećenja. Zato su njihove konstrukcijske izvedbe vrlo robusne i specifične u odnosu na klasičnu strojogradnju. Ipak principijelno se radi o jednostavnoj konstrukciji kod koje se sile oblikovanja ne prenose niti na pogon a niti na tijelo obradnog stroja, kao što je to slučaj u hidrauličnih ili mehaničkih preša. Poradi navedenog batovi ne mogu biti preopterećeni. Povrh svega dotični strojevi su vrlo fleksibilni; ukoliko se pokaže potreba za većom energijom oblikovanja, uvijek je moguće osigurati dodatni udarac.

Na području kovanja u automobilske industrije batovi zauzimaju centralno mjesto unatoč sve većoj primjeni hidrauličnih preša. Udarno djelovanje batova je osobito povoljno za oblikovanje jeftinijih limova, koje zbog njihove anizotropnosti, na prešama ponekad nije moguće oblikovati. Područje primjene batova je prvenstveno kovanje u toplom stanju i to u otvorenim i zatvorenim ukovnjima. U posebnim slučajevima moguće ih je koristiti i za izradu kovanica - u novčarstvu, za toplu ekstruziju - čahure i kako je već spomenuto za oblikovanje lima.

### 8.2.1 Vrste batova

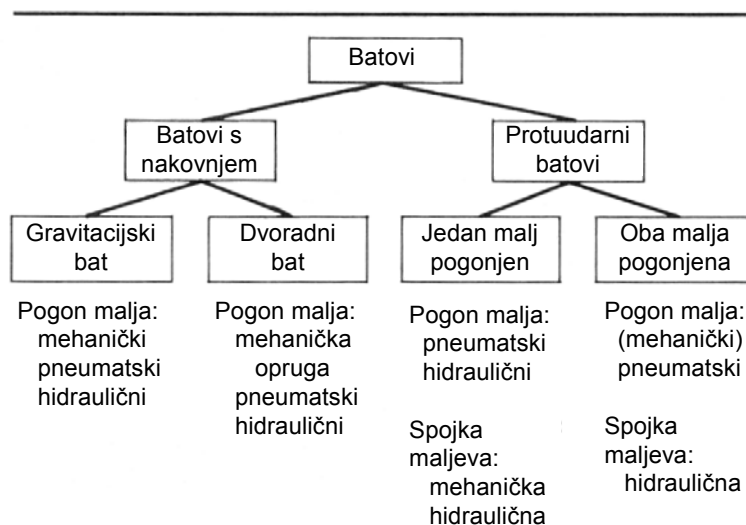
Gruba podjela batova dana je u tablici 8.2. Ubrzanje malja u smjeru udara, uvijek je veće od ubrzanja zemljine sile teže za sve batove osim gravitacijskog. U pravilu kod batova s nakovnjem (šabotom), malj mase  $m_{malj}$  brziom  $v_{malj}$ , udara o stacionarni nakovanj  $v_{nakovanj} = 0$ . Jedino kod protuudarnih batova nakovanj ima vlastitu brzinu gibanja, orijentacije prema malju i shodno tome temelji i okolina ne trpe udarno djelovanje sraza, slika 8.18 i slika 8.19.

**Tablica 8.1** Pregled ključnih karakteristika obradnih strojeva za oblikovanje deformiranjem

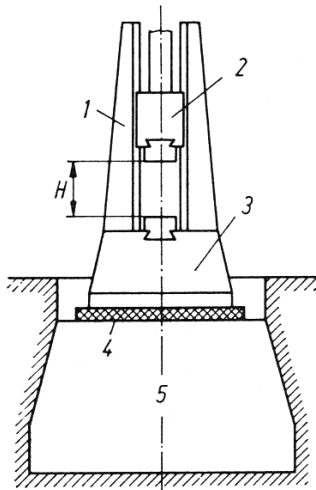
	Obradni strojevi s zagarantiranom energijom		Obradni strojevi s zagarantiranom silom		Obradni strojevi s zagarantiranim hodom
	Bat	Vijčane preše	Hidraulična preša s protokom	Hidraulična preša s akumulatorom tlaka	Mehaničke preše
<b>Energija i sila</b>					
radni kapacitet	×	×		×	×
nominalna sila		×	×	×	×
sila malja (promjenjljiva)					×
<b>Vrijeme</b>					
jednog ciklusa kontakta pod djelovanjem sile	×	×	×	×	×
brzina u trenutku inicijalnog kontakta	×	×	×	×	×
<b>Točnost</b>					
<b>Neopterećeni stroj</b>					
paralelnost površina pričvršćivanja alata	×	×	×	×	×
okomitost pomicanja malja u odnosu na stol/nakovanj	×	×	×	×	×
<b>Opterećeni stroj</b>					
opružne konstante dinamičko posrtanje malja	×	×	(×)	(×)	×

Podaci preuzeti iz /8.2/

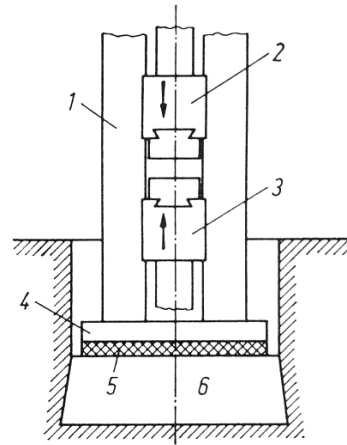
**Tablica 8.2** Klasifikacija vrsta batova



Gravitacijski bat s nakovnjem koristi se u toplom oblikovanju i oblikovanju lima. Za visinu pada malja  $H = 1 - 2$  m, brzina malja u trenutku sruza iznosi od 4.5 - 6 m/s. Broj udaraca  $n_s$  za visinu pada od 1 m može se kretati u rasponu od 50 do 60 min<sup>-1</sup>. Na slici 8.20 prikazane su moguće izvedbe batova. Kod bata s daskom i bata s remenom, malj na njegovu radnu visinu podižu tarni valjci potežući remen ili dasku pogonskim valjkom. Obije konstrukcijske izvedbe pogonskog sustava su relativno jednostavne i zahtijevaju vrlo malu investiciju dok održavanje predstavlja neznatnu stavku. Ipak glavni nedostatak je trošenje trake i remena ili daske te potreba njihove redovite zamjene. Jačinu udarca moguće je bolje kontrolirati kod gravitacijskoga bata s remenom, obzirom da radni hod počinje u trenutku kad je malj podignut na zadanu visinu.



Slika 8.18 Shematski prikaz bata s nakovnjem – 1 - tijelo bata, 2 - malj, 3 - nakovanj, 4 - podnožna poča, 5 - temelj



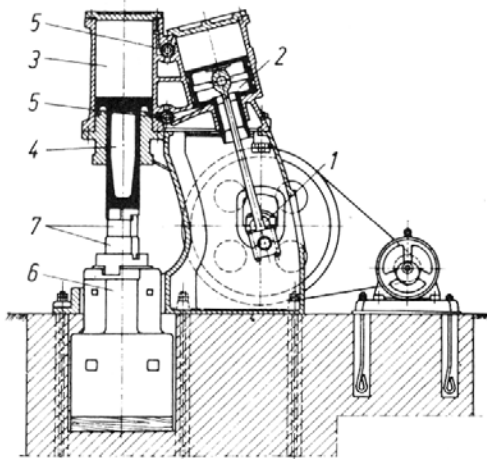
Slika 8.19 Shematski prikaz protuudarnog bata . 1 - tijelo bata, 2 - gornji malj, 3 - donji malj, 4 - podnožna poča, 5 - međuploča, 6 - temelj

Značajka						
Energija	$m \cdot g \cdot H$	$m \cdot g \cdot H$	$m \cdot g \cdot H$	$m \cdot g \cdot H$	$m \cdot g \cdot H$	$\frac{1}{2} m \cdot v^2$
Spojka	Remena spojka	Remen i potisni valjak	Tarni disk	Daska i potisni valjak	Klip	
Podizač malja	Tekstilni remen		Lanac	Daska	Klipnjača	
Potiskivač malja	—	—	—	—	Klipnjača	
Nosač	Rotirajuće vreteno				Tlačni medij	

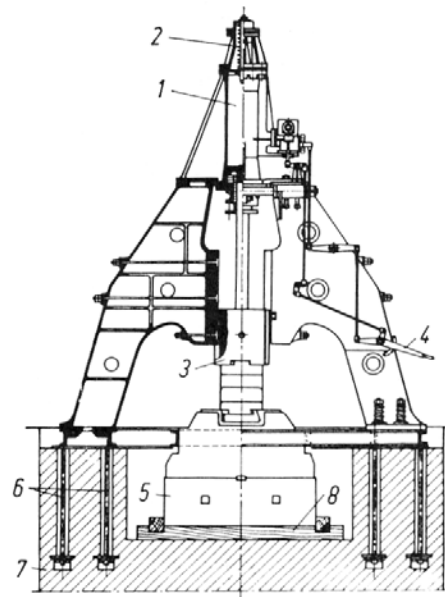
Slika 8.20 Tipovi batova s nakonjem. (a) Gravitacijski bat s remenom (namatajući pogon), (b) Gravitacijski bat s remenom (klizni pogon), (c) Gravitacijski bat s lancem (namatajući pogon), (d) Gravitacijski bat s daskom (klizni pogon), (e) Pneumatski gravitacijski bat (zrakom podizani malj), (f) Dvoradni bat (parom pogonjni bat). Tlačni medij u batova pod e. i f. može biti zrak, vodena para ili hidraulično ulje.

U europskoj konstrukciji gravitacijskog bata remen i spojka su najčešće razdvojeni kako to prikazuje slika 8.20 a. Dotično također vrijedi i za gravitacijski bat s lancem, slika 8.20 c. Maljevi u batova s klipnjačom (jednoradni batovi), slika 8.20 e podizani su parom u većih poprečnih presjeka cilindra ili hidrauličnim medijem kod manjih poprečnih presjeka cilindara. U Euopi dominiraju hidraulični jednoradni batovi dok su u Americi češći pneumatski. Obije izvedbe isključuju habanje podizača malja koje predstavlja najveći nedostatak gravitacijskih batova i s daskom i s remenom. Poradi navedenog, mali, brzohodni jednoradni hidraulični ili pneumatski batovi konkuriraju batovima s daskom i remenom u svim postupcima toplog kovanja i oblikovanja lima.

Kod dvoradnih batova s nakovnjem, nakovanj može činiti cjelinu s tijelom obradnog stroja ili biti odvojen od njega. Navedena konstrukcijska izvedba zavisi o području primjene odnosno na batu izvođenom postupku oblikovanja deformiranjem (toplo kovanje u ukovnjima, oblikovanje lima ili slobodno kovanje većih sekcija). Obije izvedbe imaju ili monolitno tijelo za niže energije kovanja  $E_N < 5000$  J slika 8.21, ili češće razdvojeno tijelo kako to prikazuje slika 8.22. Konstrukcijska izvedba dvoradnog bata s razdvojenim tijelom najčešće ima veliki razmak između nogu kako bi se na njima mogli slobodno kovati veliki otkovci (brodske radilice, osovine, motke). Veliki radni prostor omogućava lakšu manipulaciju obradcima te jednostavnije postavljanje masivnih alata.



**Slika 8.21** Dvoradni pneumatski bat monolitne izvedbe tijela. 1 - pogonsko vratilo, 2 - kompresioni klip, 3 - cilindar malja, 4 - malj, 5 - rotacioni povratni ventil, 6 - nakovanj, 7 - kovačka gravura (preuzeto od firme Eumuco)



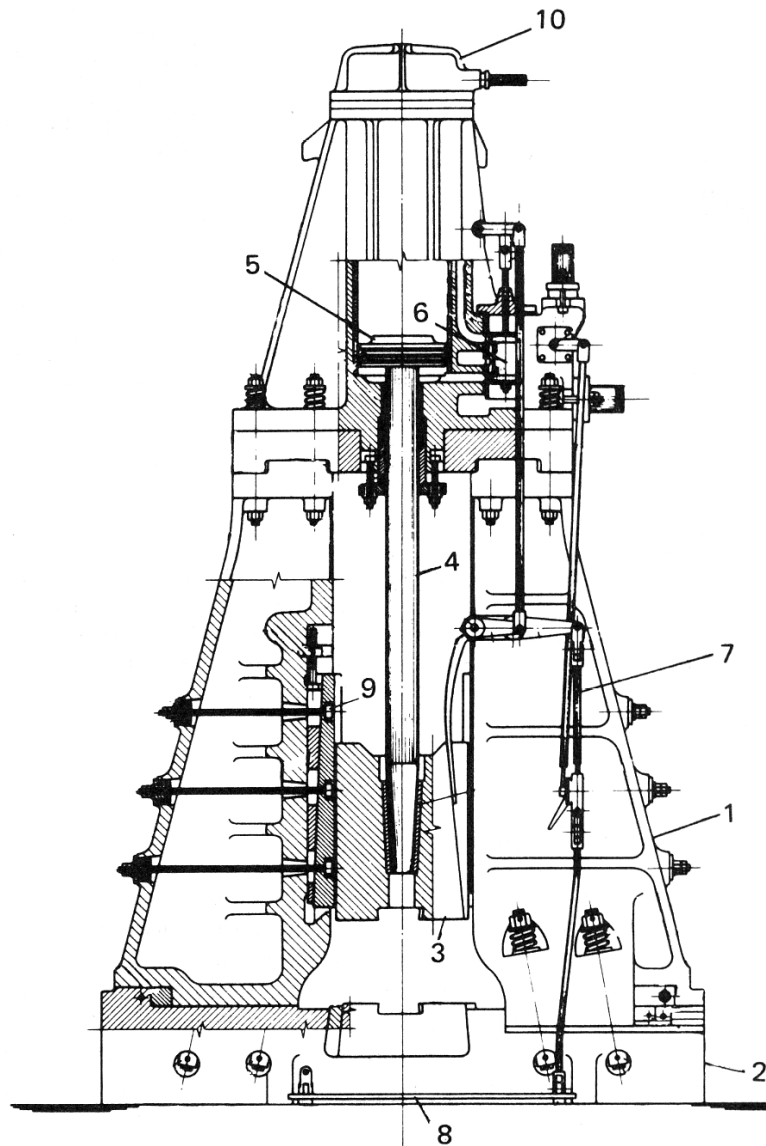
**Slika 8.22** Dvoradni pneumatski bat razdvojene izvedbe tijela za slobodno kovanje. 1 - cilindar, 2 - kompenzacijska opruga, 3 - malj s klipnjačom, 4 - poluga za ručno upravljanje, 5 - nakovanj, 6 - sidreni vijci, 7 - temelji, 8 - drvena kompenzacijska ploča (preuzeto od firme Eumuco)

Razmak između nogu, bata razdvojenog tijela, manji je u batova namijenjenih toplom kovanju u ukovnjima zbog bitno većih napreznja u otkovku  $1000 - 1400$  N/mm<sup>2</sup>. Drugi razlog je veća točnost vođenja malja poradi koje duljina vođenja treba biti ista ili veća od maksimalnog raspona nogu bata. Dvoradni bat najčešće pokreće komprimirani zrak ili vodena para tlaka od 6 do 7 MPa ( $6 - 7$  N/mm<sup>2</sup>), koji se batu dovode iz kompresorske stanice ili kotlovnice. Eventualno postojeća vulkanska vrela pregrijevane pare čine pogon dvoradnog bata besplatnim. Kada je bat pogonjen pojedinačnim kompresorom, tlak najčešće ne prelazi 2 bara. U navedenom slučaju malj pokreće naizmjenično dovođenje komprimiranog medija u gornji i donji dio cilindra malja. Kod ovog tipa upravljanje služi prvenstveno podešavanju jačine udarca malja, slika 8.21.

Kod dvoradnih batova (eng. power hammer), princip djelovanja prikazan je na slici 8.20 f, brzina malja a ujedno i energija udarca ne ovise o visini dizanja malja / prevaljenom putu, već prvenstveno o tlaku medija u cilindru. Što je veći omjer sile potiskivanja malja i mase malja, veća je njegova akceleracija. Rezultat je kompaktnija izvedba tijela malja - veća krutost i veća ostvariva točnost kovanja i otkovaka. Dvoradni bat u američkoj koncepciji s velikim hodom i srednje velikim klipom (pogonjen zrakom ili vodenom parom) prikazan je na slici 8.23. Kratkohodni dvoradni bat ima znatno veću površinu klipa i manji hod, kako bi se postigla ista tražena brzina malja uz isti radni tlak, slika 8.24.

Najnovije izvedbe dvoradnih batova koriste hidraulično ulje kao radni medij te imaju vrlo maleni radni cilindar, slika 8.25.

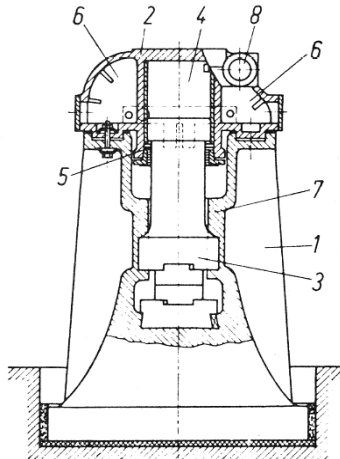
Uz navedene vrste batova s mirujućim nakovnjem, istaknuto mjesto zauzimaju protuudarni batovi, slika 8.26. Težeći samo 35% mase klasičnih batova imaju identičnu radnu moć odnosno raspoloživu energiju oblikovanja. Pri kovanju većih otkivaka mase do 4000 kg, kad su neophodni iznosi energije kovanja do 100000 J, u potpunosti su potisnuli gravitacijske i dvoradne batove s mirujućim nakovnjem. Dotično vrijedi za automobilsku industriju u zapadnoj Europi s Njemačkom na prvome mjestu.



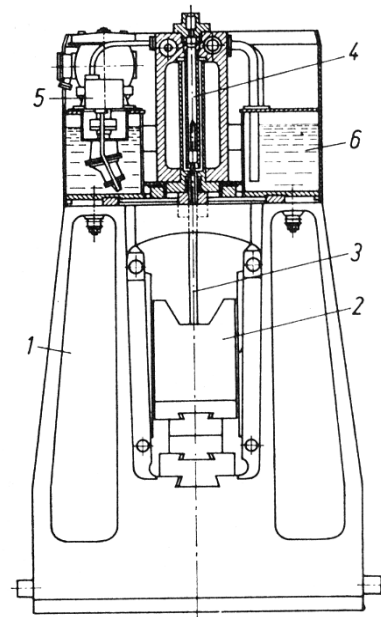
**Slika 8.23** Dvoradni parni bat razdvojene izvedbe tjela za kovanje u ukovnju.  
1 - tijelo, 2 - nakovanj, 3 - malj, 4 - klipnjača, 5 - cilindar, 6 - upravljanje,  
7 - upravljačka poluga sa sabljom, 8 - nožna pedala, 9 - vodilice, 10 - osiguranje  
od preopterećenja (preuzeto od firme Erie pres systems).

U tradicionalnih izvedbi protuudarnih batova pogon je identičan pogonu dvoradnih batova. Razlika je u kinematskoj vezi radnog i protuudarnog malja koja se ostvaruje pomoću čelične trake, slika 8.26a ili putem hidrauličkog sustava, slika 8.26b. Cilj kinematske veze maljeva je ostvariti njihovu podjednaku brzinu u trenutku sraza. Donji, protuudarni malj je od 2 do 5% teži od radnog malja kako bi; (i) maljevi bili u njihovom početnom položaju, (ii) kako bi kinematska veza; mehanička ili hidraulična, bila rasterećena tijekom samog postupka kovanja. Kod horizontalnih protuudarnih batova, oba malja su pogonjena komprimiranim zrakom, slika 8.26c. U dotičnoj, horizontalnoj konstrukcijskoj izvedbi, unošenje obratka u radni prostor obradnog stroja, nezavisno je od gibanja tj. relativnog položaja maljeva.

Brzi batovi (eng. high velocity hammer) su uglavnom konstrukcijski izvedeni kao protuudarni batovi. Obije mase, malj i tijelo, odnosno radni i protuudarni malj, pogonjeni su komprimiranim zrakom ili komprimiranim dušikom (samo u posebnim slučajevima koristi se hidraulično ulje). Tijelo, odnosno protuudarni malj znatno je veće mase od radnog malja i ima manji hod, slika 8.26d i slika 8.26e.



**Slika 8.24** Kratkohodni dvoradni bat, 10 - 100 kJ. 1 - tijelo (lijevani nakovanj), 2 - kruna bata s cilindrom, 3 - malj i klipnjača (izrađeni u jednom komadu), 4 - potisna strana cilindra, 5 - podizna strana cilindra, 6 - uravnoteženje malja, 7 - vodilice, 8 - ulaz komprimiranog zraka. (Preuzeto od firme Beche and Grohs)



**Slika 8.25** Hidraulični dvoradni bat. 1 - nakovanj i tijelo (monolitna izvedba), 2 - malj, 3 - klipnjača, 4 - cilindar, 5 - pogonski motor s hidrauličnom pumpom, 6 - spremnik ulja. (Preuzeto od firme Eumuco)

### 8.2.2 Značajke batova

Temeljna karakteristika batova je radna moć u Joulima, odnosno maksimalna raspoloživa energija  $E$  na samom početku oblikovanja. Tijekom samog postupka neminovno se javljaju gubici umanjujući korisni rad deformacije. Supanj djelovanja udarca  $h_{UDARCA}$  predstavlja omjer korisnog rada  $W_{OBLIKOVANJA}$  i raspoložive energije  $E$ . Stupanj djelovanja bata  $h_{BATA}$  omjer je raspoložive energije  $E$  i ulazne energije  $E_{ULAZ}$ . Važna značajka bata je i brzina u trenutku sraza  $v$  te broj udaraca u minuti  $n_{MIN}$  ili njegova recipročna vrijednost  $t_{UDARCA}$ .

Batovi s mirujućim nakovnjem: Raspoloživa energija bata s mirujućim nakovnjem određuje se iz mase malja i njegove brzine,

$$E = \frac{1}{2} m_T v_T^2 \quad (8.8)$$

Za gravitacijski bat i visinu pada malja  $H$ , zanemarujući gubitke,

$$E = m_T g H \quad (8.9)$$

U praksi energija iznosi od 70 do 90% gore proračunatog iznosa. Nadalje za dvoradne batove,

$$E = (m_T g + p_m A) H \quad (8.10)$$

gdje je  $A$  površina klipa,  $p_M$  pretlak vodene pare, komprimiranog zraka ili hidrauličnog media na klip. Tablica 8.3 donosi pregled tipičnih značajki batova s mirujućim nakovnjem.

Protuudarni batovi: Raspoloživa energija konvencionalnih protuudarnih batova, izračunava se na temelju poznatih masa radnog  $m_{TU}$  i protuudarnoga malja  $m_{TB}$  te njihovih brzina  $v_{TU}$  i  $v_{TB}$ ,

$$E = \frac{1}{2} (m_{TU} v_{TU}^2 + m_{TB} v_{TB}^2) \quad (8.11)$$

Značajka	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Energija	$(m_1 + m_2) \frac{v^2}{2} \approx mv^2$	$(m_1 + m_2) \frac{v^2}{2} \approx mv^2$	$(m_1 + m_2) \frac{v^2}{2} = mv^2$	$(m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2})$	$(m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2})$
Broj cilindara	1	1	2	2	1
Kinematika spojka maljeva	Čelične trake	Hidraulični medij	Hidraulični medij	—	Zrak
Omjer masa maljeva: gornji / donji	cca. 1	cca. 1	1	> 1	>> 1
Pogonski medij	Zrak / vodena para	Zrak / vodena para / ulje	Zrak	Dušik	Dušik (zrak)

**Slika 8.26** Tipovi protuudarnih batova. (a) s mehaničkom spojkom (Preuzeto od firm Beche), (b) s hidrauličnom spojkom (Preuzeto od firme Weingarten), (c) Horizontalni s hidrauličnom spojkom (IMPACTER, preuzeto od firme Chambersburg), (d) Brzi bat bez spojke (CEFF, preuzeto od firme Weingarten), (e) Brzi bat s krutom spojkom (DYNAPAK, preuzeto od firme General Dynamics).

**Tablica 8.3** Karakteristične značajke batova s mirujućim nakovnjem

	$E$ , kN·m	$\eta_B$	$v_T$ , m/s	$n_B$ , min <sup>-1</sup>	$\eta_H$
Gravitacijski bat					
s remenom	40	0.3–0.6	4–5	40	0.2–0.3
s daskom	16	0.3–0.6	4–5	35	0.2–0.3
s lancem	100	0.3–0.6	4–5	55	0.5
s klipom	63	0.3–0.6	4–5	60	0.5
Dvoradni bat					
Pneumatski	50	0.8–0.9	5–8	80–250	0.45–0.55
Za slobodno kovanje, monolitno tijelo	40	0.8–0.9	5–8	450	0.45–0.55
Za slobodno kovanje, razdvojeno tijelo	250	0.8–0.9	5–8	55–240	0.5
Za kovanje u ukovnjima	100	0.3–0.6	5–8	55–240	0.5

**Tablica 8.4** Karakteristične značajke protuudarnih batova

	$E_r$ , kN·m	$\eta_B$	$v_{rel}$ , m/s	$n_B$ , min <sup>-1</sup>	$\eta_H$
Pneumatski pogon s čeličnom trakom	400		6	40–60	0.5
Pneumatski pogon s hidrauličnom spojkom	1250–1500	Sličan dvoradnom batu	6	30–60	0.5
Hidraulični pogon s hidrauličnom spojkom	125		8 or 14	120	
CEEF (Weingarten)	550	—	20	7.5–12	
DYNAPAK (General Dynamics)	760 horizontalni 2070 vertikalni		20	do 12	
IMPACTER (Chambersburg)	630		4–12		0.5



Za horizontalne batove kod kojih je sa jedna strana pogonska.

$$E = (m_{TL}g + p_{m,L}A_L)H_L - m_{TR}gH_R \quad (8.12)$$

gdje su  $m_{TL}$  te  $m_{TR}$  mase lijevog i desnog bata,  $p_{m,L}$  je pretpostavljeni srednji tlak na lijevi klip i  $H_L$  i  $H_R$  duljine koje prevaljuje lijevi odnosno desni malj. U batova kod kojih su prevaljene duljine maljeva jednake za lijevi i desni malj te su oba pogonjena istim pretlakom medija, radnu moć je moguće odrediti kao

$$E = 2p_mAH \quad (8.13)$$

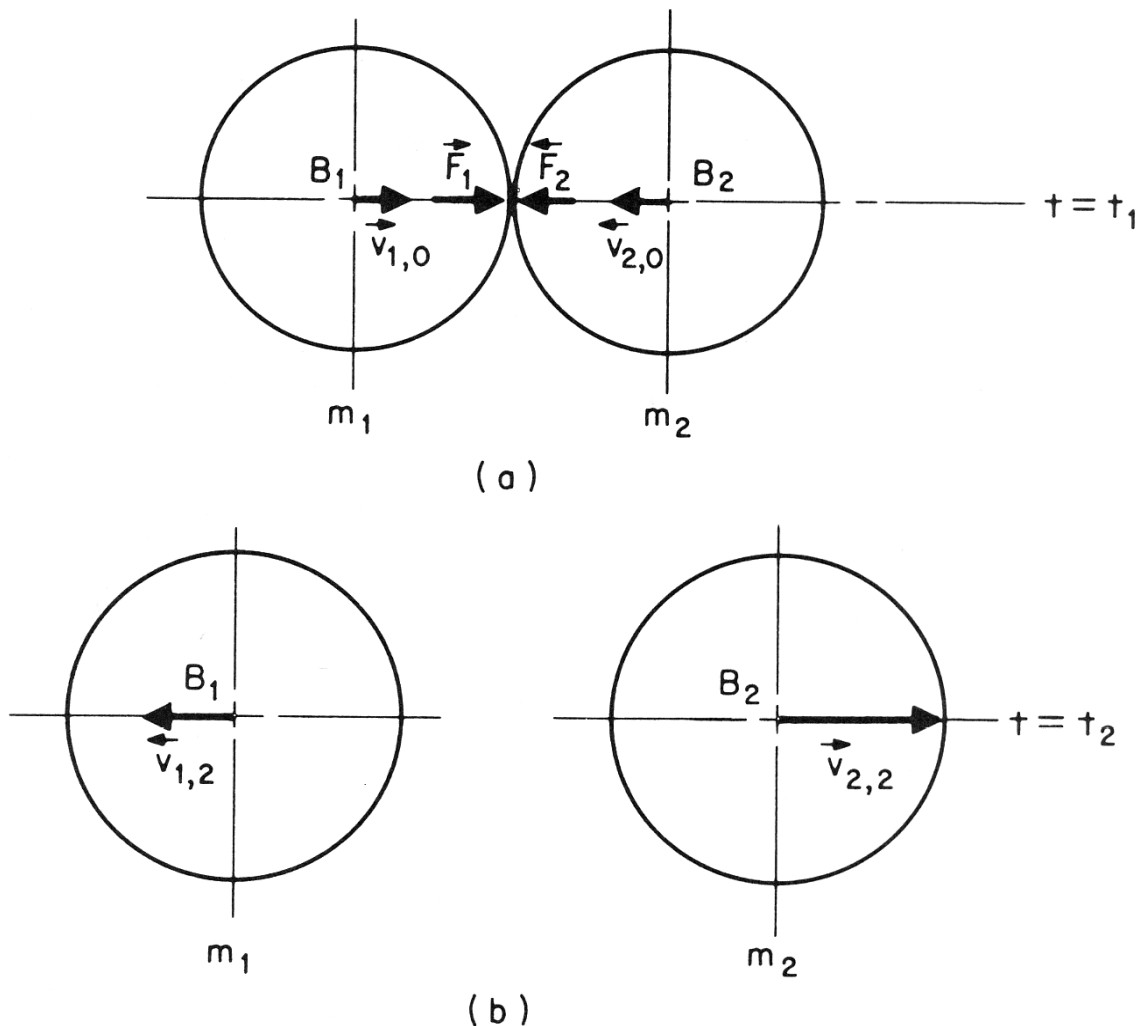
Iako gubici nakovnja ne postoje kod protuudarnih batova, ipak se mali djelić energije gubi u vidu trenja na kliznim stazama maljeva.

Tablica 8.4 daje neke značajke nekolicine tipičnih protuudarnih batova. Detaljna analiza sraza i stupnja djelovanja bata slijedi u slijedećoj glavi.

### 8.2.3 Stupanj djelovanja batova

Za potpuno razumijevanje dinamičkog ponašanja malja i nakovnja, neophodan je uvid u teoriju sraza odnosno sudara. Koristeći dotičnu teoriju, moguće je odrediti stupnja djelovanja bata.

Kada se dvije mase  $m_1$  i  $m_2$  s pripadajućim brzinama  $v_1$  i  $v_2$  sudare, kako to prikazuje slika 8.27a, sraz je moguće podijeliti na dvije, fizikalno različite faze /8.13/. U prvoj fazi koja traje vremenski interval  $t$ ,  $t_0 < t < t_1$ , tijela se približavaju jedno drugome.



**Slika 8.27** Sudar masa kod kovanja na batovima.  $B_1$ ,  $B_2$  - tijela 1 i 2. (a) prva faza sudara, (b) druga faza sudara.

**Tablica 8.5** Vrijednosti koeficijenta sudara  $k$ 

$v$ , m/s	$k$	Tip sudara
2-3	0.55	Jaki sudar
6-8	0.85	Jaki sudar
	0.05-0.1	Meki sudar (slobodno kovanje)
	0.4-0.6	Srednje jaki sudar (kovanje u ukovnju)

U trenutku  $t=t_1$  dva tijela su u najtješnijem kontaktu. Ona se deformiraju poradi rezultatne sile sudara. Na kraju ove faze deformacije su maksimalne. Na kraju prve faze u trenutku  $t = t_1$ , tijela imaju istu brzinu.

$$v_{11} = v_{21} = u \quad (8.14)$$

Brzinu  $u$  je moguće odrediti iz zakona neelastičnog sudara,

$$u = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20}}{m_1 + m_2} \quad (8.15)$$

U drugoj fazi sudara,  $t_1 < t < t_2$ , deformacije su dijelom trajne a dijelom elastične. Kraj druge faze sudara karakteriziraju razdvojenost, odnosno tijela koja više nisu u kontaktu. :

Odgovarajuće brzine tijela nakon sruza su  $v_{12}$  i  $v_{22}$ . Koeficijent sudara  $k$  označava omjer plastičnog i elastičnog udjela u sudaru na slijedeći način

$$k = \frac{v_{12} - v_{22}}{v_{20} - v_{10}} \quad (8.16)$$

Faktor  $k$  može poprimiti vrijednosti između 0 i 1, gdje 0 označava plastični sudar a 1 elastični sudar. Tablica 8.5 pruža nekoliko svojstvenih vrijednosti koeficijenta sudara. Nedvojbeno u postupcima oblikovanja deformiranjem poželjan je manji iznos koeficijenta  $k$ .

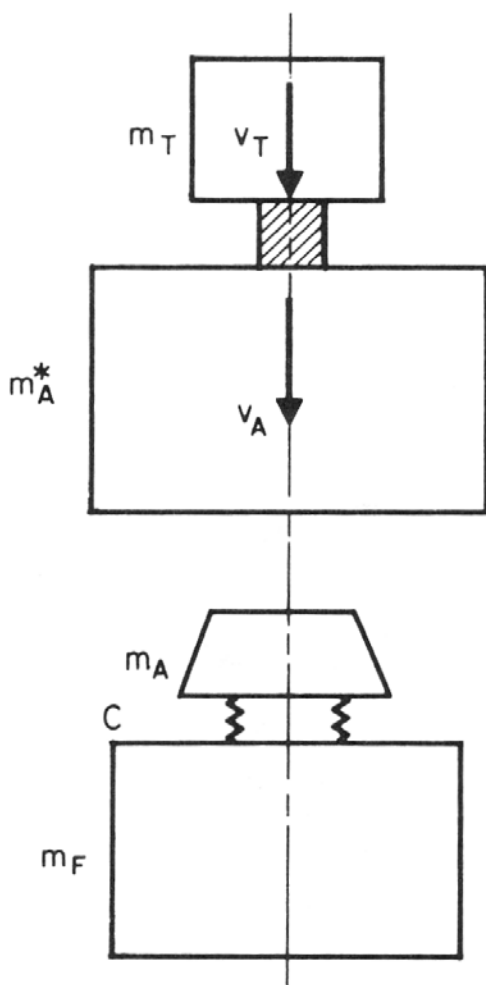
Za batove s mirujućim nakovnjem gore navedeni izraz se može upotrijebiti kako bi se dobilo relevantan podatak o obradnom stroju. Razmatrajući različite parametre malja i nakovnja dane na slici 8.28, malj mase  $m_T$  putuje brzinom  $v_T$  dok ekvivalentna masa  $m_A^*$  putuje brzinom  $v_A$ . Ekvivalentna masa  $m_A^*$  predstavlja zbroj mase nakovnja  $m_A$  i mase temelja  $m_F$ . Tipični omjeri masa temelja i malja  $m_T/m_F = 16-20$ , ili  $m_T/m_F = 60-80$ . Za podatne sustave  $m_A^* = m_A$  dok je kod krutih sustava  $m_A^* = m_A + m_F$ . Postoje različiti izrazi koje je moguće upotrijebiti za određivanje stupnja djelovanja bata,

$$u = \frac{m_T v_T}{m_T + m_A^*} \quad (8.17)$$

$$k = \frac{v_{A,2} - v_{T,2}}{v_T} \quad v_A = 0 \quad (8.18)$$

$$v_{T,2} = u + k(u - v_T) \quad (8.19)$$

$$v_{A,2} = u(k + 1) \quad (8.20)$$


**Slika 8.28** Shematski prikaz fenomena sudara u batova s mirujućim nakovnjem.

Slični izrazi za konvencionalne protuudarne batove su, uz pretpostavku kako je  $m_T \approx m_A^* = m$  te iz simetrije  $v_{TU,0} \approx -v_{TL,0} \approx v_0$  tj.  $v_{TU,2} \approx -v_{TL,2} \approx v_2$ ,

$$u = 0 \quad (8.21)$$

odnosno

$$v_2 = kv_0 \quad (8.22)$$

**Učinkovitost sudara:** Učinkovitost sudara u batova je moguće izračunati koristeći zakon o očuvanju energije,

$$E = W_U + W_L \quad (8.23)$$

gdje E ukupna energija,  $W_U$  koristan rad te  $W_L$  disipirani rad ili izgubljena energija. Zakon o očuvanju energije u trenutku  $t = t_1$  daje izraz:

$$E = W_U + W_{A,1} + W_{T,1} + W_{el,T} + W_{BL,1} \quad (8.24)$$

i u trenutku  $t = t_2$ :

$$E = W_U + W_{A,2} + W_{T,2} + W_{BL,2} \quad (8.25)$$

Kinetička energija ekvivalentne mase  $m_A^*$  u trenutku  $t_1$  je

$$W_{A,1} = \frac{m_A^*}{2} u^2 \quad (8.26)$$

Kinetička energija malja  $W_{T,1}$  u trenutku  $t = t_1$  je,

$$W_{T,1} = \frac{m_T}{2} u^2 \quad (8.27)$$

Rad elastične defomacije alata  $W_{el,T}$  u trenutku  $t_1$  vraća se tijekom druge faze. Gubici u malju kao posljedica sudara predstavljeni su s  $W_{BL,1}$  i  $W_{BL,2}$  u svakoj od dvije faze sudara. U trenutku  $t = t_2$  kinetička energija ekvivalentne mase nakovnja  $W_{A,2}$  dana je s;

$$W_{A,2} = \frac{m_A^*}{2} v_{A,2}^2 \quad (8.28)$$

Slično, kinetička energija malja u trenutku  $t = t_2$  je;

$$W_{T,2} = \frac{m_T}{2} v_{T,2}^2 \quad (8.29)$$

Učinkovitost sudara se definira kao

$$\eta_B = \frac{W_U}{E} \quad (8.30)$$

Iznos učinkovitosti sudara trebao bi biti isti u obje faze sudara, odnosno i za  $t = t_1$  i za  $t = t_2$ . Koristeći gore navedene izraze za bat s mirujućim nakovnjem, s početnom brzinom nakovnja  $v_{A,0} = 0$ , vrijede slijedeće jednakosti;

1 Gubici malja i nakovnja u trenutku  $t = t_1$ ,

$$e_{A,1} + e_{T,1} = \frac{W_{A,1} + W_{T,1}}{E} = \frac{1}{1 + Q^*} \quad (8.31)$$

gdje  $Q^* = m_A^*/m_T$ , omjer masa

2 Gubitak nakovnja u trenutku  $t = t_2$ ,

$$e_{A,2} = \frac{W_{A,2}}{E} = Q^* \left( \frac{k+1}{1+Q^*} \right)^2 \quad (8.32)$$

3 gubitak u malju u  $t = t_2$ ,

$$e_{T,2} = \frac{W_{T,2}}{E} = \left( \frac{1 - kQ^*}{1 + Q^*} \right)^2 \quad (8.33)$$

4 Rad elastične deformacije u trenutku  $t = t_1$

$$e_{el,T} = \frac{W_{el,T}}{E} = \frac{F_1^2}{2C_T E} \quad (8.34)$$

gdje je  $F_1$  konačna sila a  $C_T$  opružna karakteristika alata

5 Gubitak zbog sudara u trenutku  $t = t_1$ ,

$$W_{BL,1}$$

Kako bi se odredio udio izgubljene energije, koristi se faktor sudara  $k$ ,

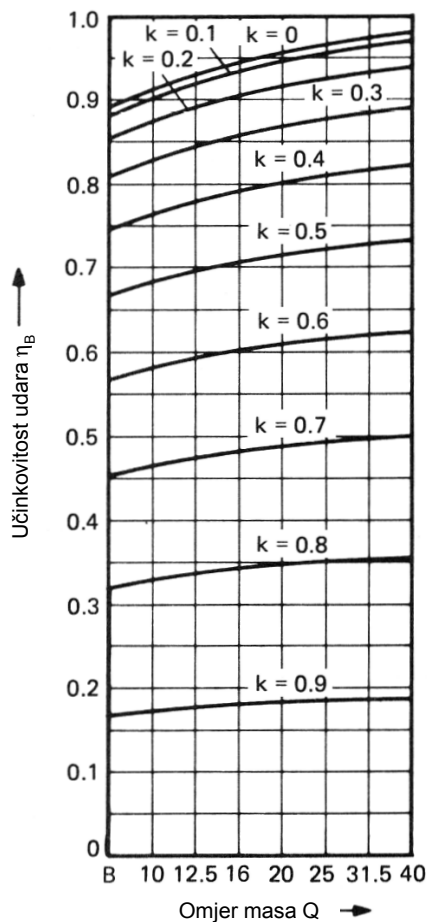
$$k = \frac{W_{BL,1}}{W_L} \quad (8.35)$$

gdje je  $W_L$  suma svih gubitaka. Faktor  $k$  zavisi o opružnoj karakteristici alata  $C_T$  te o načinu pričvršćenja alata na malj i na nakovanj. Konačni izraz za učinkovitost sudara prema /8.14/ glasi;

$$\eta_B = 1 - \frac{1}{1 - k} \left[ \frac{1}{1 + Q^*} + \frac{F_1^2}{2C_T E} \right] \quad (8.36)$$

Vrijednost  $k$  je izmjerena te se kreće u intervalu od 0.15 do 0.45. Manja vrijednost se odnosi na podatniji alat odnosno gravuru, te labavije pritegnuti alat na malj i nakovanj. Veće vrijednosti dotičnog faktora, odnose se na krući alat i bolje pritezanje alata u obradni stroj za oblikovanje deformiranjem.

Učinkovitost sudara  $\eta_B$  za različite vrijednosti  $k$ , kao funkcija omjera masa  $Q^*$ , dana je na slici 8.29. Za istu energiju odnosno radnu moć bata, učinkovitost se udara smanjuje s povećanjem  $k$  i sile oblikovanja  $F_1$ : učinkovitost udara povećava se s povećanjem opružne karakteristike alata  $C_T$  i omjera masa  $Q^*$ .



Slika 8.29 Učinkovitost udarca kao funkcija omjera masa

Za protuudarne batove s  $v_{TU,0} = -v_{TL,0}$  te  $m_{TU} = m_{TL}$ ,

$$\eta_B = 1 - k^2 - e_{BL,2} \quad (8.37)$$

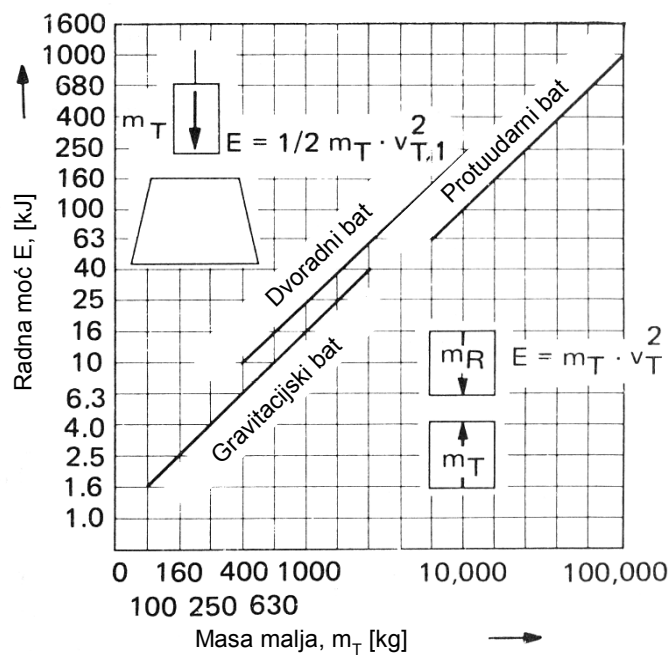
gdje  $e_{BL,2} = W_{BL,2} / E$ . Pretpostavke identične onima kod batov a s mirujućim nakovnjem, treba koristiti kako bi se odredio  $e_{BL,2}$  te odredila učinkovitost udara protuudarnih batova. Tablice 8.3 i 8.4 sadrže najčešće vrijednosti za batove smirujućim nakovnjem i protuudarne batove.

Područje primjene, pojedinih tipova bata razmotrenih u ovom poglavlju, dano je na slici 8.30.

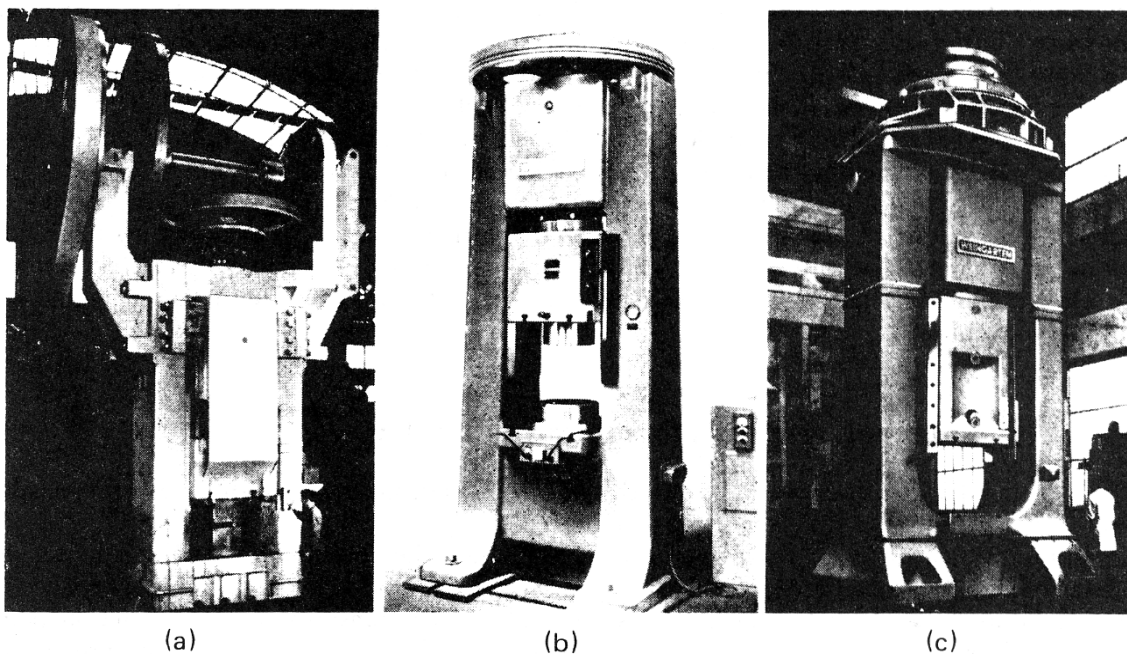
### 8.3 VIJČANE PREŠE

Vijčane preše se u pravilu grade s O tijelom kako to prikazuje slika 8.31. Tijelo može biti varene konstrukcije (monolitna izvedba) ili sastavljeno od segmenata, elementi od lijevanog čelika međusobno pričvršćeni motkama, vijcima i zaticima.

Glavna značajka ovih preša je mehanizam pogona. Elektromotor pokreće vijčano vreteno kojim se kružno gibanje pretvara u translatorno gibanje malja. Vijčano vreteno koje se koristi je najčešće viševojno vreteno s usponom od 13° do 17°. Tijekom oblikovanja obratka, kompletna kinetička energija vretena pretvara se u rad deformacije i neminovne gubitke što se javljaju poradi elastične deformacije i trenja.



**Slika 8.30** Intervali primjene različitih tipova batova pri kovanju u ukovnjima. Kod protudarnih batova masa malja  $m_T$  dana je za jedan pogonjeni malj.



**Slika 8.30** tipovi vijčanih preša. (a) pogon s četiri diska; vijčano vreteno se rotira te aksijalno giba duž vlastite osi (preuzeto od firme Hansclever), (b) pogon s jednim diskom; vijčano vreteno samo rotira; tarni pogon; monolitno tijelo (preuzeto od firme Weingarten), (c) pogon s jednim diskom; vijčano vreteno samo rotira; izravni električni pogon, segmentna izvedba tijela (preuzeto od firme Weingarten).