

KETASSAAGIMINE

1. Üldist

Keskmise ja väikese võimsusega saetööstuses kasutatakse ketassaagmasinaid väga tihti. Puidu pikilõikamisel kasutatakse järgmisi ketassaagmasinaid:

- palgilõikamisketassaed, 2- või 4-saelised (*headrig*)
- prussisaed (tänapäeval enamasti mitmekettalised) (*resaw*)
- seimrid (*edger*)
- lahkketassaed (*rip-saw*)

Tihti kasutatakse palgilõikamisketassaega koos laasturit (asub tehnoloogiliselt sae ees). Saemasinad asuvad enamasti tootmisliinis, kuid kasutatakse ka positsioonpinkidena.

Puidu ristikiudu saagimisel (järkamine e otsamine e kappimine) kasutatakse järgmisi masinaid:

- pendelsaed
- šarniirsaed
- suportsaed
- balansiirsaed
- nn trimmerid
- nn šlešer (*slasher*)

Puidukiudude suhtes suvalise nurga all on võimalik saagida universaalketassael (ehk nn kreissaag). Puitmaterjali (PKP, PLP, MDF-plaat) lahtilõikamiseks kasutatakse formaatsaage. Pealistatud (höövelspoon, laminaat) plaatide täpselt lahtilõikamiseks kasutatakse täpisformaatsaage. Tihti on viimased servapealistusliini koossesitus selle üheks agregaadiks.

Ketassaagimise iseärasused:

Eelised:

1. konstruktsiooniline lihtsus – rihmülekandega käitav saevõll, ketassaag, mootor jms
2. lõikepinnad on sirged, saadava saematerjali mõõtmed täpsed ja pind sile; suure läbimõõduga palkidest suurte prusside saagimisel esineb mõõtmete täpsuse kõikumist.
3. suur etteandekiirus (palkide saagimisel USA-s 110 mmin^{-1} , Euroopas $30...40 \text{ mmin}^{-1}$, laudade servamisel kuni 350 mmin^{-1})
4. suur tootlikkus (tootlikkus on siiski väiksem kui võimsatel lintsaagmasinatel)
5. saagimisparameetrite kiire seadistamise võimalus
6. masinad on suhteliselt väikesed ja kerged ega vaja suuri vundamente
7. saed töötavad ilma vibratsioonideta, seetõttu on masinad töökindlad
8. masinaid on lihtne paigaldada töötlemisliinidesse

Puudused:

1. laiem saetee võrreldes teiste saagimisviisidega
2. saekettad on tundlikud ülekuumenemisele seoses hõõrdumisest, liiga kiirest etteandest, lõikehammaste nürinemisest või valest teritusest
3. raskused suure läbimõõduga palkide saagimisel
4. saeketaste ettevalmistus nõuab äärmiselt kõrget kvalifikatsiooni
5. lõigatava materjali suhteliselt väike kõrgusmõõt

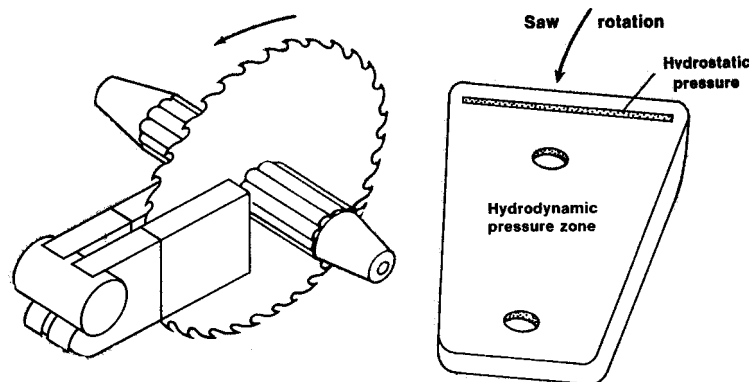
Ketassaagimisel on saetee laiem võrreldes teiste saagimisviisidega (tabel 1). Suurema saetee laiuse põhjuseks on ristvibratsiooni tekke oht, mille tõttu on vajalik kindlustada sae külgjäikust tema paksuse suurendamise teel.

Tabel 1.

Saagimismasin tüüp	Lõikeriista paksus, mm	Saetee laiendus, mm	Saetee laius, mm
Ketassaagimismasin	2,2-3,2	2x(0,5-0,7)	3,2-4,6
Raamsaagimismasin	2,0-2,6	2x0,75	3,5-4,1
Lintsaagimismasin	1,2-1,5	2x0,7	2,6-2,9

Kasutades koonilisi ketassaage on võimalik saavutada õhukest saeteed ka ketassaagimisel. Kahevõllilisel või juhikutega pikilõikusmasinal on saetee kõrgusel 180 mm saetee laius 3,2 mm.

Tänapäeval kasutatakse moodsates saeveskites enamasti nn ujuvate saagide tehnoloogiat. See võimaldab tunduvalt vähendada saetee laiust.



Joonis 1. Ujuva saagimise skeem Joonis 2. Sae juhik ujuval saagimisel

Saag võib liikuda piki telge, momenti kantakse üle nuutide abil. Juhikute vahelt pihustatakse düüsidest õhu ja vee emulsiooni segu. Kaugus saeketta pinnast saejuhikuni on suurusjärgus kuni 100 µm (kaasaegne piirmäärimine, kus kasutatakse spetsiaalseid õlisid). Sellise konstruktsiooniga on USA-s saavutatud saetee laius 2,0...2,4 mm, saeketta paksusel 1,25...1,75 mm ja saetee laiendusel 0,27...0,3 mm.

Kui vähendada saetee laiust 3,2 mm 2,0 mm-ni, siis suureneb saematerjali väljatulek 3,7...4,3%. See võimaldab 300 000 m³ saematerjali aastas saagival saeveskil säästa aastas umbes 1 milj USD.

2. Ketassaagimise kinemaatika. Saagimise pealiikumine on ketassae pöörlemine (enamasti sagedusega 2000...6000 min⁻¹). Pealiikumise kiirus on sae hamba joonkiirus, mis on arvutatav valemiga

$$v = \frac{\pi D n}{60000}$$

kus D –sae diameeter, mm

n pöörlemissagedus, min⁻¹

v sae joonkiirus (lõikekiirus) m/s

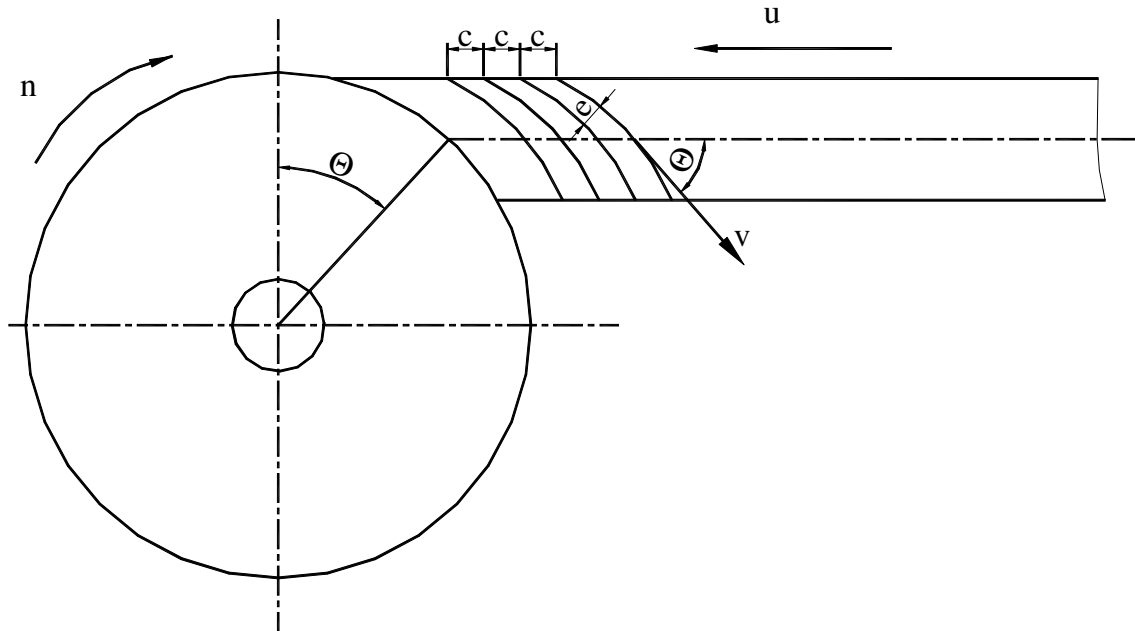
Etteandeliikumine on mõõdetav harilikult ühikutes m/min, tähis u. Pikilõikamisel (lõiketasapind on paralleelne puidukiudude suunaga) on etteandeliikumine toorikul, ristilõikamisel (lõiketasapind on risti puidukiudude suunaga) on etteandeliikumine kas toorikul (näit slešer) või ka sael (trimmerid, balnsiirsad jms). Etteanne hamba kohta c ja etteande saeketta pöörde kohta Δ arvutatakse valemitega

$$u = \frac{c z n}{1000}; \quad \Delta = c z$$

kus c – etteanne ühe hamba kohta, mm

z – hammaste arv sael

Δ – etteanne sae pöörde kohta



Joonis 3. Ketassaagimise kinemaatika

Saagimisel on lõikehammaste trajektoorid (osa tsüklidist) nihutatud etteandekiiruse u sihis suuruse c võrra (etteanne lõiketera kohta). Sealjuures on tähtis nurk lõikekiiruse v ja etteandekiiruse u vahel Θ – see on **kinemaatiline kohtumisnurk**. Kinemaatilise kohtumisnurgast sõltub laastu paksus e (möödetakse risti kahe lõiketasepinna vahel, mitte etteandekiiruse suunas nagu c)

$$e = c \sin \theta$$

Kinemaatilist kohtumisnurka on võimalik muuta muutes saevõlli tsentri kaugust materjali etteande tasapinnast. Sealjuures on oluline, et laastu paksus on materjali paksuses erinev, väiksem saehamba sisenemisel ja suurem materjalist väljumisel. Arvutustes kasutatakse keskmist laastu paksust e , mis arvutatakse keskmisel materjali paksusel.

Ketassaagimisel eristatakse variante kus saevõll paikneb töölaua all variantidest, kus saevõll paikneb töölaua kohal. Kinemaatiliselt esinevad ka variandid, kus etteandekiirus ja lõikekiirus on kontaktkaares ulatuses suunatud samas suunas s.o **pärietteanne** ja kus etteandekiirus ja lõikekiirus on kontaktkaares ulatuses suunatud teineteisele vastassuunas – **vastuetteanne**. Tööstuses kasutatakse enamasti vastuetteannet, pärietteannet kasutatakse saagidel, mis saevad tehnoloogilist laastu, mõningates prussisaagmasinates etteandejõu vähendamiseks ja mõningates ristisaagimise masinates, kus saevõll paikneb töölaua kohal.

Kinemaatiline kohtumisnurk on arvutatav valemiga $\Theta = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$. Nurgad φ_1 ja φ_2 aga vastavalt etteandetuübile ja saevõlli paiknemisele.

$\varphi_1 = \arccos \frac{H+h}{R}$ $\varphi_2 = \arccos \frac{h}{R}$	$\varphi_1 = \arccos \frac{h}{R}$ $\varphi_2 = \arccos \frac{h+H}{R}$
$\varphi_1 = \arccos \frac{h}{R}$ $\varphi_2 = \arccos \frac{h-H}{R}$	$\varphi_1 = \arccos \frac{h-H}{R}$ $\varphi_2 = \arccos \frac{h}{R}$

Saagimisprotsessi parameetreid kasutatakse protsessi kirjeldamiseks, need on tehnoloogilised suurused ettevõtjale majanduslikuks ja tehniliseks hinnanguks. Saagimisprotsessi parameetrid arvutatakse lõpp-parameetritest, need omakorda fikseeritud ja muutuvparameetritest. Lõpp-parameetritele on kirjanduses antud soovitatavad vahemikud, mida on vajalik saagimise tehnoloogilise kontrolli all hoidmiseks järgida. Fikseeritud parameetreid enamsti ei ole võimalik muuta (tabel 2).

Sae parameetrid:

Tabel 2.

Fikseeritud parameetrid	Muutuv-parameetrid	Lõpp-parameetrid	Saagimisprotsessi parameetrid
Sae diameeter Lõikesügavus	Sae paksus Laienduse ulatus Pöörete arv Hambasamm Etteandekiirus Hambavahe pindala	Saetee laius Lõikekiirus Ettenihe Hambavahe täitumisindeks	Väljatulek Täpsus Pinnasiledus Hamba nürinemine Tootlikkus Lõikevõimsus

Saetee paksus arvutatakse lähtudes sae paksusest ja laienduse ulatusest valemiga

$$b = s + 2s'$$

Hambavahe täitumiskoeffitsient GFI on arvutatav valemi järgi

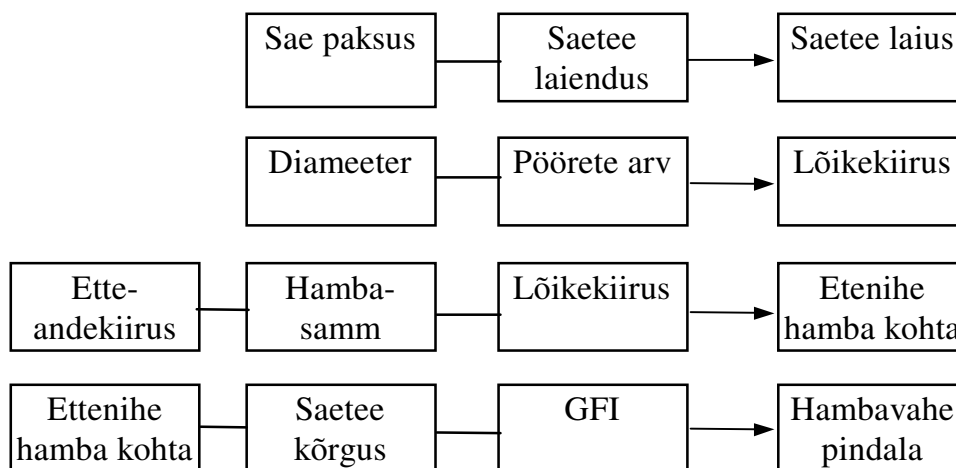
$$GFI = \frac{H \cdot c}{F}$$

kus F –efektiivne hambavahe pindala mm²,

H – saetee kõrgus, mm

c – ettenihe lõiketera kohta, mm

Lõpp-parameetrite arvutusvalemeid kirjeldab alljärgnev diagramm



Lõpp-parameetrite soovituslikud väärtused

Saetee laius. Lintsaagidel on saetee laius (1,8-2,2) x saelehe paksus

Ketassaagidel (jämetöötlus) - (1,6-2,0) x saelehe paksus

Ketassaagidel (puhastöötlus) - (1,3 -1,6) x saelehe paksus

Saelehe paksus valitakse kogemuslikult. Paksem saeleht valitakse tihedamale ja kuivale puidule, heas korras oleval seadmel võib kasutada õhemat saagi. Õhukesel saelehel puudub jäikus vastu seismaks lõikejõududele.

Lõikekiirus. Efektiivsed lõikekiirused määratakse **katseliselt**. Suurimaid lõikekiirused on vajalikud väikese tihedusega puidu lõikamisel (avaldavad vähimat vastupanu saele), suurema tihedusega puidule on vajalik tunduvalt väiksem lõikekiirus. Väikest lõikekiirust vaja takse ka oksliku ja külmunud puidu lõikamisel. Liiga suur lõikekiirus põhjustab hammaste purunemist, hammaste kuumenemist ja suurendab lõikevõimsust, samuti vähendab see töötlemistäpsust ja kahjustab lõigatavat pinda. Mitteküllaldane lõikekiirus vähendab tootlikkust.

Tüüpilised lõikekiirused on näidatud joonisel.

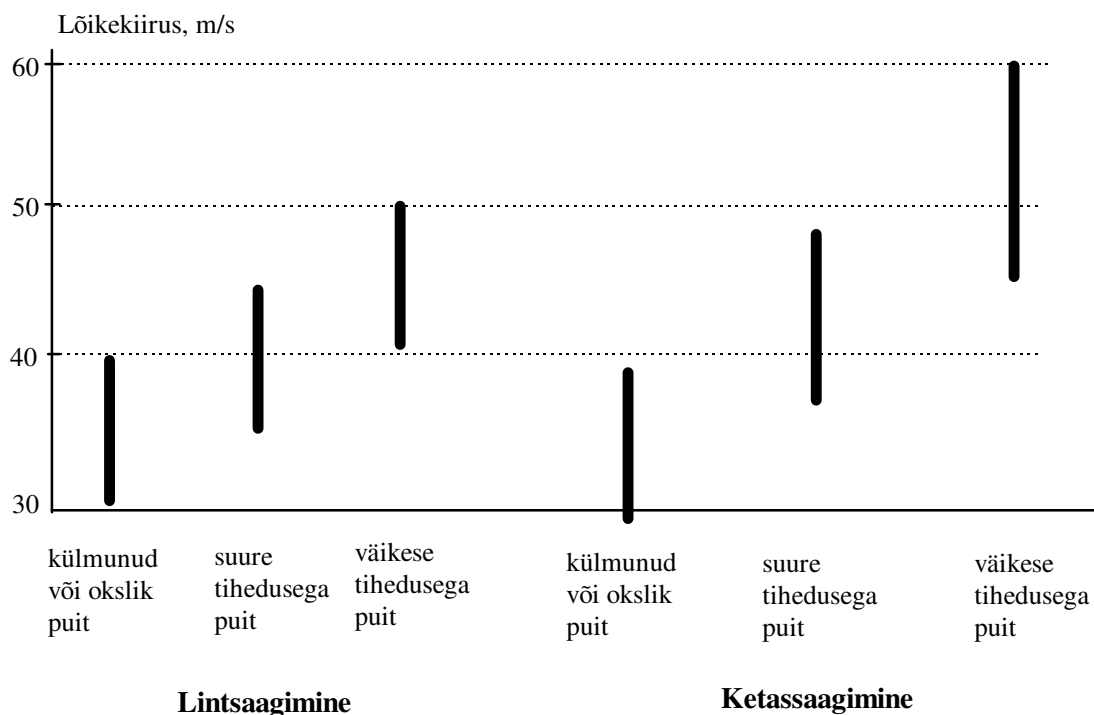
Ettenihe hamba kohta. Vahemaa, mille lõigatav materjal läbib ajavahemikul, millal lõikehammas läbib ühe hamba sammu. Ketassaagimisel on iga hamba poolt lõigatud laastu paksus väiksem kui ettenihe hamba kohta. Isegi alumises paksmas osas on saepuru ristlõige väiksem kui ettenihe hamba kohta.

Praktikas on kasutatav **minimaalne ettenihe lõikehamba kohta määratud lõigatava saepuru paksusega**. Kui saepuru (laast) on liiga väike, jääb ta sae hambapõhja püsima, kui saag läbib lõigatavat materjali. Osa saepurust võib liikuda saeketta ja lõikepinna vahele põhjustades

lõikevõimsuse kasvu, saeketta kuumenemist ja saehammaste kulumist. Ülekuumenemine võib esile kutsuda sae viskumise. Saepuru sae külgpinnale sattumist võib ära hoida, kui hoida ettenihe hamba kohta üle selle väärtuse, et laastu paksus on suurem kui sae laienduse ulatus.

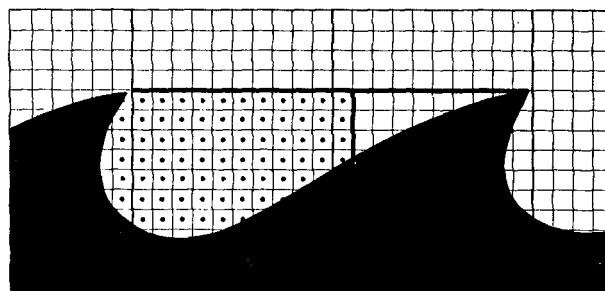
Maksimaalne ettenihe hamba kohta on ära määratud saehamba tugevusega. Veel kaasnevad liiga suure ettenihkega on halb pinnakvaliteet, oksade väljarebimine lõikepinnal, vähenenud lõiketäpsus.

Rusikareegel kõlab, et ettenihe hamba kohta ei tohi ületada saeketta paksust. Tüüpilised kasutatavad ettenihked hamba kohta annavad praktikas laastu, mille paksus on piirides 20%- 60% saeplaadi paksusest. Suure tihedusega puiduliigid nõuavad väiksemat etteandekiirust.



Joonis 4. Lõikekiiruse soovituslikud väärtused

Hambavahe täitumisindeks (GFI - hambavahe täitumiskoeffitsient). Hambavahe peab olema nii suur, et mahutada lõigatavat saepuru, kuid mitte nii suur, et nõrgendada hamba tugevust. Efektiivse saagimisprotsessi jaoks peab hambavahe olema täidetud saepuruga mõistlikul määral.



Joonis 5. Hambavahe täitumiskoeffitsiendi määramine

Joonisel näidatakse hambavahe täitumisindeksi määramist. Mõõdetakse hambavahe pindala. Millimeeterpaberile joonestatakse 2 naaberhamba kontuurid, hambatipud ühendatakse sirgjoonega. Loetakse üle ruudud, kui ruut on täidetud vähem kui poole ulatuses, seda ei loeta. Efektiivne hambavahe on väiksem kui täielik hambavahest, hambatipu läheduses olev joala on liiga kitsas, et hoida saepuru, sellepärast seda ei arvestata. Määratakse loominguliselt, efektiivne pindala mõiste ei ole täpselt defineeritud.

Lõikamisel tekkiv saepuru võtab rohkem ruumi kui puit, sest **puidu maht suureneb muutumisel saepuks ligi kolm korda.**

Soovituslikud GFI väärtused:

Masina tüüp	GFI
Lintsaag	0,50-0,90
Ketassaag, jämetöötlus	0,50-0,70
Ketassaag, puhastöötlus	0,33-0,40

Jämetöötluse saagidel on suuremad laienduse ulatused, suurem etteandekiirus, saepuru pudeneb hambavahest lõikepinna ja saeketta vahele. Puhastöötluse saagidel hambavahe täitumise vähendamine vähendab saepuru pudenemist hambavahest välja, soovitatav on GFI vähendada kuni 0,25. Piirab hamba tugevus:

Hamba kõrgus peab olema piiratud poole hambasammu väärtusega (väike lõigatava puidu tihedus) või ühe kolmandiku hambasammu väärtusega (suur tihedus).

Saagide konstrueerimine. Alustatakse fikseeritud parameetrite mõõtmisest ja muutuvsparameetrite määramisest. Arvutatakse välja eeltoodud neli lõppparameetrit (saetee laius, lõikekiirus, ettenihe ja GFI) ja vaadatakse kas need langevad toodud vahemikkudesse. Kui ei lange, on vaja muuta mõnda muutuvsparameetrit.

Näidisülesanne. Puidu pikisaagimine, saetav puit mänd, sae diameeter 50,8 cm (20 tolli), sae hammaste arv 30, pöörete arv 2000 p/min, etteandekiirus 61 m/min, saetee kõrgus (lõikesügavus) 152 mm (6 tolli), efektiivne hambavahe pindala 465 mm², sae paksus 2,4 mm, laienduse ulatus 0,5 mm, sinθ=0,75.

Saetee laius $b=s+2s'=2,4+2\cdot0,5=3,4$ mm

Suhe $b/s=3,4/2,4=1,4$ [1,3 - 1,6]

Lõikekiirus $v = \frac{\pi Dn}{60000} = \frac{3,14 \cdot 2000 \cdot 508}{60000} = 53,2$ m/s [45 - 60 m/s]

Ettenihe lõikehamba kohta $c = \frac{1000 \cdot u}{z \cdot n} = \frac{1000 \cdot 61}{30 \cdot 2000} = 1,0$ mm

laastu paksus $e=c \cdot \sin\theta=1,0 \cdot 0,75=0,75$ mm

Minimaalne ettenihe hamba kohta $c=s'/\sin\theta=0,5/0,75=0,67$ mm

Maksimaalne ettenihe hamba kohta $c=s=2,4$ mm

Soovitatav $c=(0,3 - 0,6)s=0,72 - 1,44$ mm [0,72 - 1,44 mm]

Arvutatud c langeb soovitavasse vahemikku, s.t. valitud hammaste arv on sobilik lõikekiiruse ja etteandekiirusega

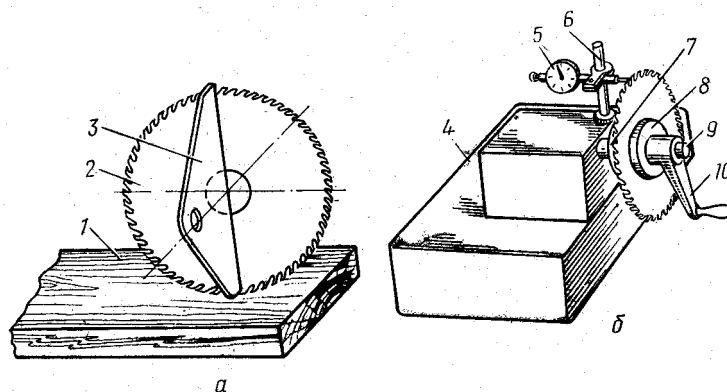
Hambavahe efektiivne täitumiskoeffitsient (GFI)

$$GFI = \frac{H \cdot c}{F} = \frac{152 \cdot 1,0}{465} = 0,33 \quad [0,33 - 0,4]$$

Hambavahe on sobiv valitud etteandekiiruse ja lõikesügavusega.

3. Ketassaagide tööks ettevalmistamine

Ketassaagide ettevalmistamisel tööks teostatakse järgmised operatsioonid: ketassae tasapinnalisuse ja eelpingestatuse hinnang, saeketta rihtimine, saeketta pinnimine või valtsimine. Saeketta tasapinnalisust hinnatakse kahe parameetri järgi: saeketta sirgjoonelisuse järgi mitmetes tasapindades ja otsviskumise järgi. Sirgsuse hindamisel asetatakse saeketas vertikaalselt ja saeketta diameetritele, raadiustele ja kõõludele asetatakse saekaliiber (vt joonis). Lehtkaliibritega mõõdetakse maksimaalsete pilude suurused saeketta ja saekaliibri vahel. Otsviskumise hindamiseks kasutatakse selleks konstrueeritud rakist, mille võllile innitatakse saeketas surveseibidega. Otsviskumist mõõdetakse saeketta aeglasel pööramisel indikaatorkellaga. Indikaatorkella mõõtevarras asetatakse risti saeketta tasapinnaga 5 mm allpool hambapõhjade ringjoont. Normatiivsete näitajate ületamine viitab saeketta defektidele ja vajadustele nende välja rihtimisele.



Joonis 6. Saeketta tasapinnalisuse hinnang: a – sirgsuse hinnang, b – otsviskumise hinnang. 1 – alustükk, 2 – ketassaag, 3 – saekaliiber, 4 – alus, 5 – indikaatorkell, 6 – tugi, 7 – tugiseib, 8 – surveseib, 9 – võll, 10 – käepide

Saeketta defektid jagunevad kaheks: üldised (taldrikulisus, tiivikulisus, paine mööda ringjoont) ja kohalikud (nõrk koht, tugev koht, muhk, paine).

Taldrikulisus moodustub saeketta keskosa liigse nõrgenemise tagajärjel (ülemäärane pinnimine, mööda ringjoont esinevad põletuskohad). Kui ketassaag asetada horisontaalselt, on võimalik läbipainde suunda käega muuta. Defekt kõrvaldatakse saeketta keskosa pinnimise ja valtsimise teel mõlemalt sae küljelt.

Tiivikulisuse korral on keskosas tõmbepinged ja saeketta ääres osas survepinged, s.t saeketta pingeseisund on vastupidine nõutavale. Tiivikulisus moodustub ääresosa ülekuumenemise tagajärjel. Saeketta kontrollimisel saekaliibriga on märgata 2 omavahel risti asetsevat diameetrit, kus saekaliiber on saekettaga tihedalt vastas.