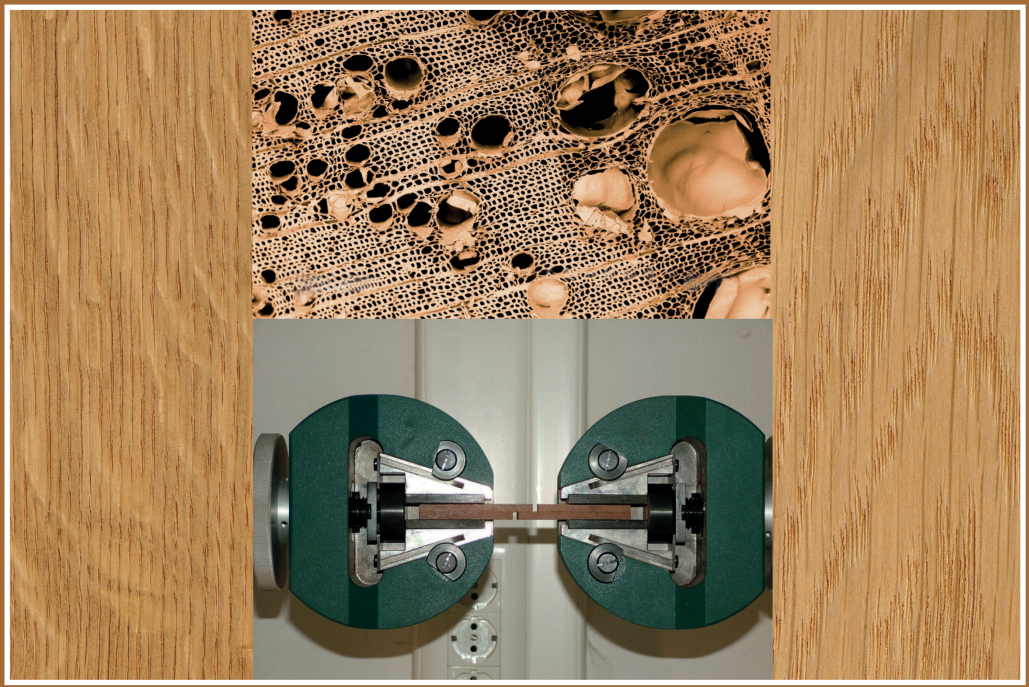
A faanyagtudományok története Magyarországon



Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának tanulmánykötete III.

2024

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete III.

A faanyagtudományok története Magyarországon

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete III.

A faanyagtudományok története Magyarországon

Szerkesztette:

Németh Róbert

SOPRONI EGYETEM KIADÓ
Sopron, 2024

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya
Erdészeti Tudományos Bizottságának kezdeményezésére és irányításával valósult meg.

Jelen kiadvány a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki
és Kreatívipari Kara anyagi támogatásával jött létre.

Az egyes fejezeteket lektorálta:
Németh Róbert

Kiadó:
Soproni Egyetem Kiadó

Felelős kiadó:
Prof. Dr. Fábián Attila, a Soproni Egyetem rektora

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED
Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Borítókép:
Báder Mátyás, Bak Miklós, Németh Róbert

ISBN 978-963-334-512-2 (nyomtatott)
ISBN 978-963-334-513-9 (pdf)
DOI szám: https://doi.org/10.35511/978-963-334-513-9

Nyomdai kivitelezés:

INFORM
Kiadó & Nyomda
1149 Budapest, Angol u. 34.
www.informstudio.hu

Budapest, 2024/10

TARTALOM

Beköszöntő 6

Előszó 7

Faanatómia 8

Faanyagvizsgálatok 17

Roncsolásmentes faanyagvizsgálatok 29

Faanyagok szárítása és modifikálása 39

Faalapú kompozitok 54

A faanyag színe és színváltozásai 79

A fa mechanikai megmunkálása 90

A fa, mint építőanyag 132

Faanyag ökomérlege 151

Faenergetika 157

Faanyagok ragasztása és felületkezelése 168

Fejezetek a fakémia magyarországi történetéből 202

Faanyagvédelem 233

A kötet szerzői 251

A FA MECHANIKAI MEGMUNKÁLÁSA

Magoss Endre és Csanády Etele

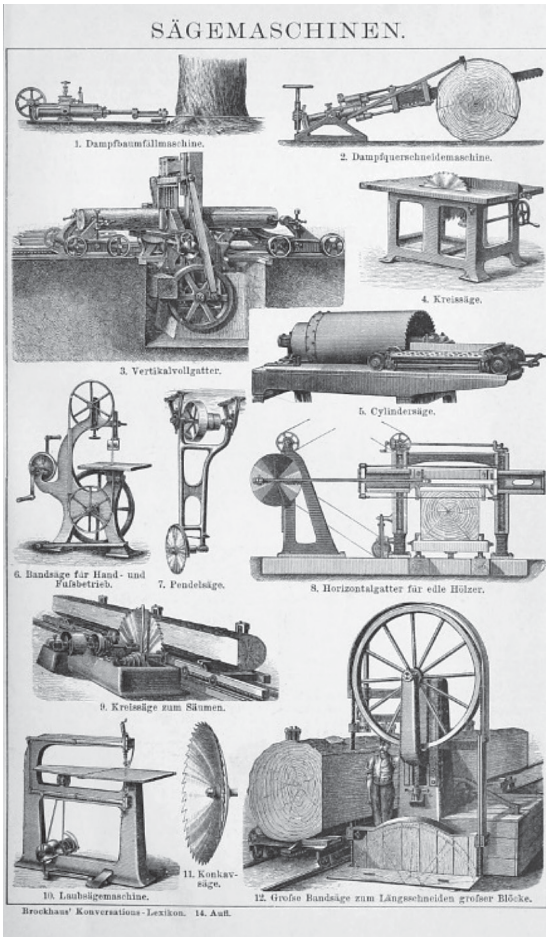
Bevezetés

A fafeldolgozás egyes műveleteiben alapvető szerepet játszik a mechanikai megmunkálás. A megmunkálás célja általában a faanyag alakjának, méretének és felületi minőségének a megváltoztatása. A mechanikai megmunkálás az esetek túlnyomó részében a forgácsolás, s a forgács ebben az esetben melléktermék. Ez utóbbi részben ipari hasznosításra mint forgácslapok gyártására és energetikai hasznosításra kerül. Készülhet azonban célfurnér is mint például hasított vagy hámozott furnér, forgács és fagyapot is.

A forgácsoló szerszámok fejlődésének története

A faforgácsolás már nagyon régi múltra tekint vissza, az egyiptomiak már sík felületet tudtak „gyalulni", a fűrészelés már akkor elkezdődött amikor még nem volt villamoshajtás sem, vízi fűrészmalmok dolgoztak, vagy megjelent a gőzhajtás.

Gőzgéppel hajtott keretfűrész és körfűrész (Fotó: Anon.)

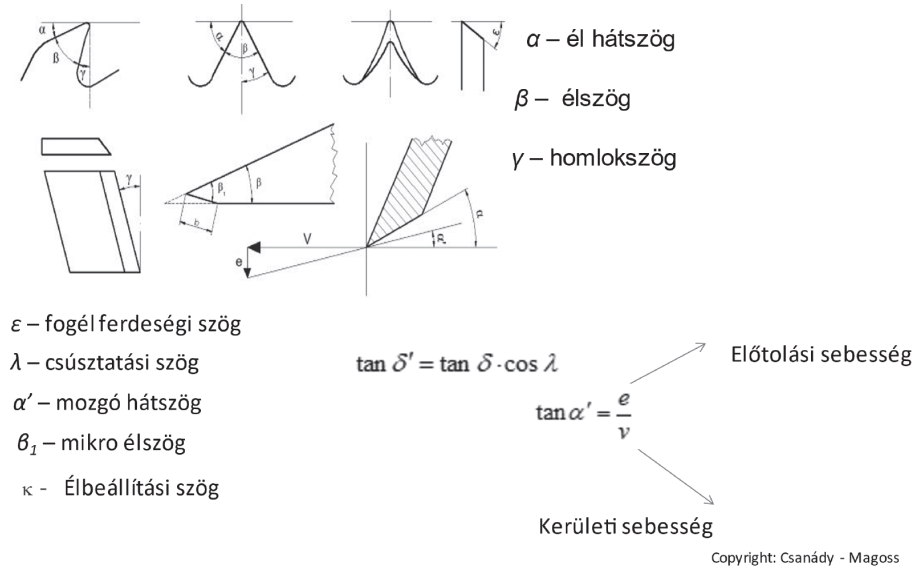


Régi fűrészgépek. (Fotó: Anon.)

A fejlődés következő foka már a villamosság megjelenése volt. Ettől a pillanattól kezdve már egyedivé váltak az egyes gépek meghajtásai. A szerszámok szintén fejlődtek, ez egyértelműen érinti a szerszámok anyagát, geometriáját és üzemeltetési paramétereit. Ezek a fejlesztések egyrészt gyakorlati tapasztalat alapján történtek, azonban az 1800-as évek végén elindultak az elméleti kutatások elsősorban az európai egyetemek keretén belül. A kutatások magára a faanyagra terjedtek ki, majd ezen ismeretek tudatában kezdték fejleszteni a szerszámokat is.

A faanyagok folyamatos vizsgálatával, a mai napig párhuzamosan fejlődtek a forgácsoló szerszámok élanyagai is. A fejlődés lépcsői a következők voltak: szerszámacél, gyorsacél, stellitezés, keményfém (widia), polikristályos, majd monokristályos gyémántok. Érdekes módon a kerámia szerszámfog anyagok irányába nem történtek jelentős kísérletek.

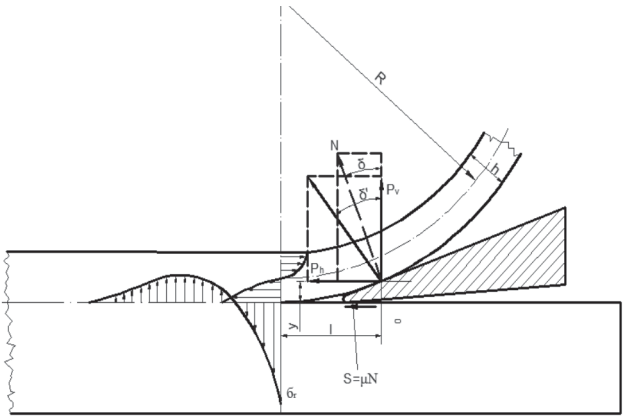
Folyamatosan fejlődtek és fejlődnek a szerszámgeometriák is. Nagyon sok gyakorlati kísérlet és elméleti igazolás vitte előre a fejlődést.



Szerszámok geometriai paraméterei (Csanády és Magoss 2013)

A forgácsolás elmélete

1980 után a Faipari Géptani Tanszék (Erdészeti és Faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar) kutatásai új irányt vettek. Az első feladat volt a faforgácsolás elméletének új alapokra való helyezése, amely világviszonylatban sem volt megoldva. Ezt követte a csúszó forgácsolás elmélete, nyomóléc mechanikája, a csiszolás mechanikája, majd később a kalapácsos daráló faaprítási mechanikája. A legutóbbi téma forgácsolási műveletek optimalizálása. Könyvünk egyedülálló ebben a témakörben. (Csanády és Magoss 2019)



A forgácsoláselmélet legfontosabb alaptételét tartalmazza a mellékelt ábra, amely megmutatja a forgácsoláskor fellépő erőviszonyokat. (Sitkei 1983).

Forgácsoláskor fellépő erőviszonyok (Csanády és Magoss 2013)

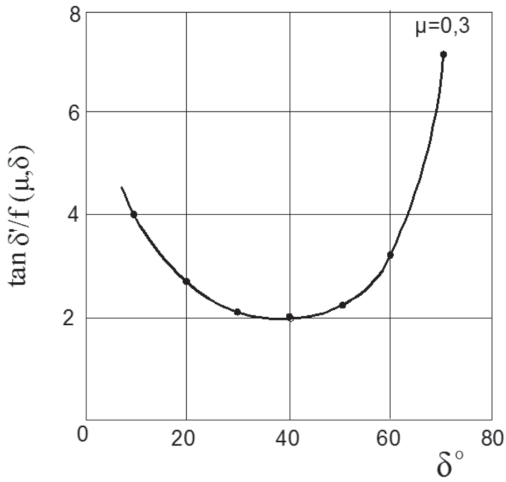
A forgácsoláskor meghatározható a horizontális forgácsolási erő elméletileg is. Mint ahogy a természetben is mindig, a gyakorlatban is van midig minimum.

$$P_h / b = 2\rho\sigma_c + \frac{\tan\delta'}{f(\mu,\delta)} \cdot \frac{E}{50} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \cdot h$$

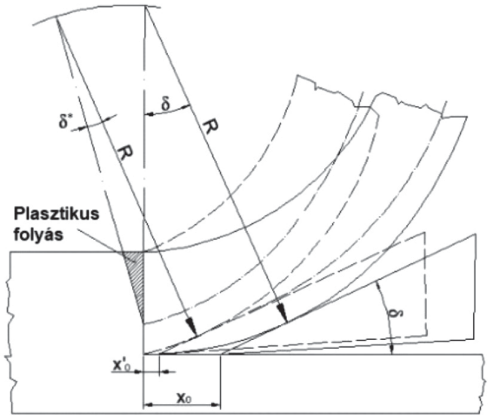
rövid írásmóddal:

$$P_h / b = A + B \cdot h$$

Alábbi függvény bizonyítja, hogy változatlan forgácsolási paraméterek mellett az erő a forgács vastagságtól lineárisan függ. Az egyenletben levő trigonometrikus függvénynek 40° tájékán minimuma van és ez egyben minimális forgácsoló erőt is jelent.



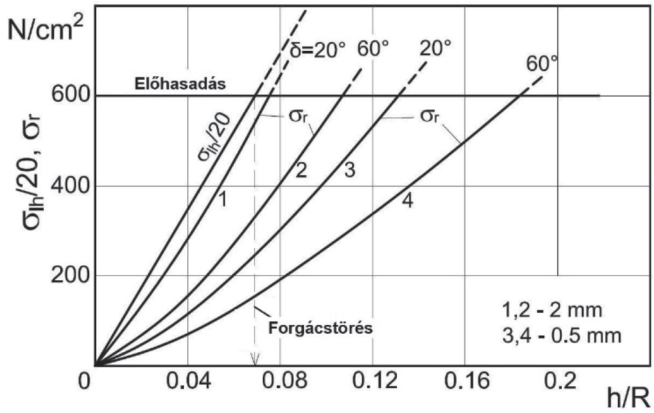
Erőminimum forgácsoláskor (Csanády és Magoss 2013)



A 80-as évek kutatásai adtak arra is választ, hogy forgácsoláskor milyen peremfeltételek esetén törik illetve hasad elő a forgács. (Sitkei 1982)

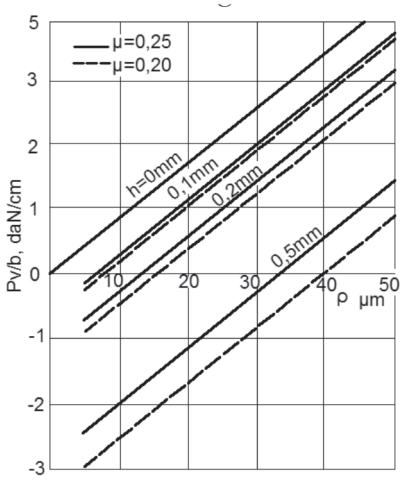
A nagy terhelésnek köszönhetően a forgács felső, összenyomott oldala gyakorlatilag mindig megfolyik. Ennek következtében a forgács lábánál lévő keresztmetszet előrefelé fordul, és a δ szög csökken(δ*).

A forgács plasztikus deformációja (Csanády és Magoss 2013)



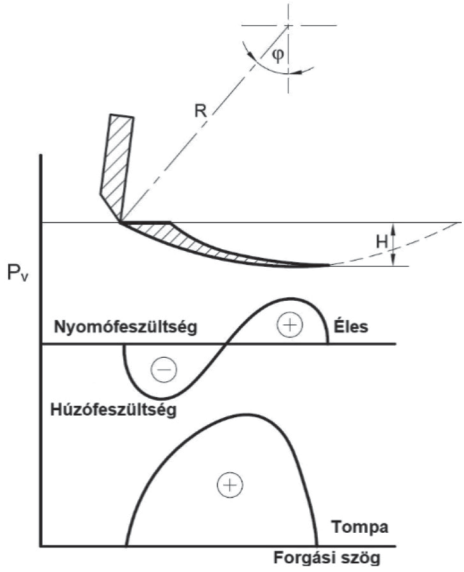
Forgács előhasadás és törés peremfeltételei (Csanády és Magoss 2013)

Fontos szempont, hogy mikor hasad elő illetve törik el a forgács, hiszen ez nagymértékben befolyásolja a felületi érdességet, ami meghatározza a későbbi megmunkálásokat és a felületkezelést.



Egységnyi erőre számolt erőviszonyok a forgácsvastagság és szerszámélkopás függvényében. (Csanády és Magoss 2013)

Az élekre ható erők komponensei megmutatták, hogy az élkopás és forgácsvastagság hogyan befolyásolja a függőleges erőt.



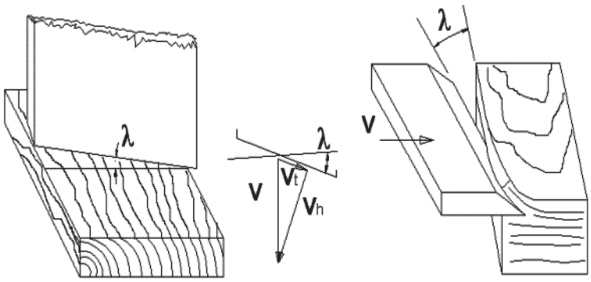
A nyomó és húzó feszültség változása éles illetve kopott szerszámnál. (Csanády és Magoss 2013)

Az ábra egyértelműen mutatja, éles szerszámnál a forgácsolás kezdeti szakaszában a húzó feszültség szinte belehúzza az élet az anyagba, míg a kopott szerszám élét a forgácsolás teljes folyamatában nyomó feszültség éri.

Csúszó forgácsolás

(Az elméletet a Faipari Géptani Tanszéken a 90-es években dolgoztuk ki.)
A csúsztatási szög fő hatásai (furnér hasításnál, marásnál, gyalulásnál):
- csökkenti a forgácsolási erőt
- a normál erő csökkenése mindig kisebb dinamikus terhelést jelent a szerszám tengely csapágyszerkezetében, valamint kisebb gerjesztő erőt generál a munkadarab vibrációjában
- alacsonyabb a zajszint
- jelentékenyen jobb felületi érdességet nyerünk.

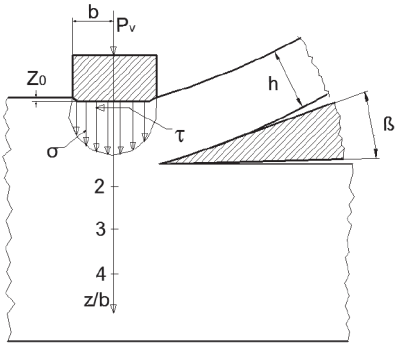
A kinematikai viszonyokat mutatja a mellékelt ábra.



Csúszó forgácsolás (Csanády és Magoss 2013)

Furnérhasítás és a nyomóléc mechanikájának kidolgozása szintén a 90-es évekre esik a Faipari Géptani Tanszéken.

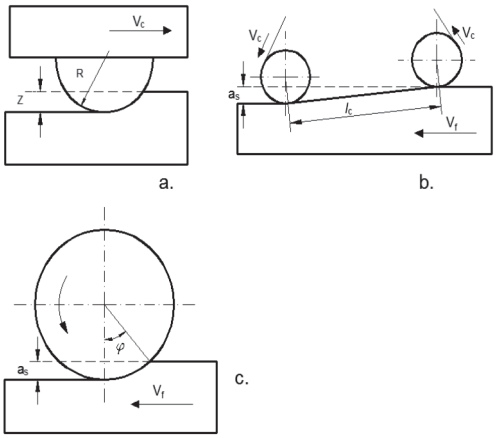
A furnér általában hasítással vagy hámozással készül. A kiváló minőségű furnér készítéséhez hasítógépet használnak, különösen a kést és az nyomólécet mindig optimális helyzetbe kell beállítani. A faanyag nedves és főzött állapotban kerül hasításra, így több plaszticitást biztosít a felületi repedezés és előhasadás ellen.



Hasítókés és nyomóléc elhelyezkedése (Csanády és Magoss 2013)

A csiszolás mechanikája

Korábban szintén nem volt megfelelően kidolgozva megfelelően elmélettel alátámasztva. A csiszolás jellege és paraméterei figyelembevételével az alábbi megoldások adódnak:



A gömb közeli vágóelem (a), a lineáris szalag csiszolás (b) és a henger csiszolás (c) (Csanády és Magoss 2013)

A Faipar Géptani Tanszéken megbízható számítási módszert dolgoztunk ki (Csanády és Magoss, 2013) amelynek fő összefüggései a következők. Mivel a munkadarab lehet álló vagy mozgó, ezért az összefüggések kissé módosulnak. Álló munkadarabok esetén a lecsiszolt rétegvastagság az időben növekszik

$$a_s = \frac{V}{b \cdot L} = B \cdot \frac{p \cdot v_c \cdot t}{\gamma} \qquad \text{m}$$

amelynek fajlagos értéke

$$k = \rho \frac{a_s}{t} = \frac{B}{g} p \cdot v_c \quad \text{kg/m}^2\text{s} \quad \text{vagy g/cm}^2\text{min}$$

Általában a munkadarab mozog v_f előtolási sebességgel a szalag alatt. Egy adott pont csiszolási ideje

$$t = \frac{L_c}{v_f}$$

és ekkor a lecsiszolt rétegvastagság

$$a_s = B \cdot L_c \frac{p v_c}{\gamma v_f}$$

míg a fajlagos érték

$$k = \rho \frac{a_s v_f}{L_c} \qquad \text{kg/m}^2\text{s}$$

ahol:

V – a lecsiszolt tömör térfogat,
γ – a fajsúly,
b – csiszolt szélesség
B – anyagállandó
L_c – a csiszolási hossz,
p – a csiszolási felületi nyomása,
v_c – szalag sebessége
t – csiszolási idő.

A fenti egyenletek alapján dimenziónélküli hasonlósági szám nyerhető:

$$\pi = \frac{p \cdot v_c}{a_s v_f \gamma} \quad \text{vagy} \quad \pi = \frac{p \cdot v_c}{k \cdot g \cdot L_c} \quad \text{és} \quad B \cdot L_c \pi = 1$$

amely alapvető szerepet játszik az elmélet és gyakorlat általánosításában.

A csiszolószalag a használat közben kopik és a lecsiszolt rétegvastagság fokozatosan csökken. Ennek figyelembevétele negatív exponenciális függvénnyel lehetséges

$$a_s(t) = a_{so} \cdot e^{-\beta t}$$

amelynek integráltja

$$a_s = a_{s0} \frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

Mivel a csiszolószalag hossza különböző lehet, és csiszolási hossz viszont L_c=10 cm körüli, ezért a szalagok élettartama csak a valódi csiszolási idők alapján hasonlíthatók össze (Sitkei 2021, Progress. Rep. No.8)

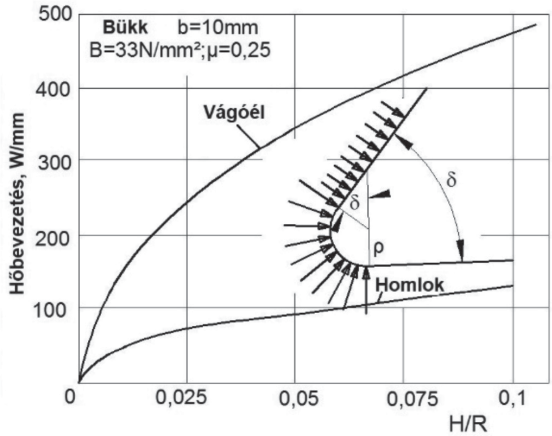
Faforgácsoló szerszámok hőterhelése

A szerszámélek hőállapotának pontosabb ismeret 1980-ig teljesen hiányzott. A forgácsolási elmélet megszületése lehetővé tette a forgácsolást kísérő súrlódási munka szabatos meghatározását a változók függvényében és ennek alapján végeselemes számítási módszer segítségével meg lehetett határozni a késél maximális hőmérsékletét a befolyásoló tényezők függvényében. Fontos részfeladat volt a forgó szerszám hűlési folyamatának meghatározása kritériumi egyenlet formájában.

A fa feldolgozásakor a gépeken gyakran forgácsolunk, a forgács a szerszám felületén csúszik, és a súrlódási munka hővé alakul. A hő legnagyobb része az él közvetlen környezetébe áramlik. A súrlódási teljesítménytől függően a késél perem területe felmelegszik, és az él felszínén a hőmérséklet elérhet magas értéket.

A szerszám élének magas hőmérséklete növeli az él kopását, mivel a hő lágyítja a fémeket - különösen 500–600 ° C felett (gyorsacél). A faipar szerszámainak mikroszkópos vizsgálata kimutatta, hogy anyag felrakódása észrevehető az élfelületen, ami az anyag

lágyulásának következménye. Az utóbbi időben a kés felületeken a kalcium és a kálium vegyületek voltak megfigyelhetők, amelyek csak 800 °C-on jöhetnek létre a fából.



A hőbevezetés elméleti eloszlása a kés homlok és él felületén.
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

Szerszámhőmérséklet különböző forgácsolási körülményeknél

tacioner hőállapot (például esztergályozás), amikor a hőmérséklet állandó marad, függetlenül az időtől a szerszám minden pontján;

Kvázi stacioner állapot (forgó szerszámok), amikor a szerszám hőmérséklete csaknem állandó marad a szerszám belsejében, kivéve a felszínt és az alatti réteget, néhány tizedmillimétert;

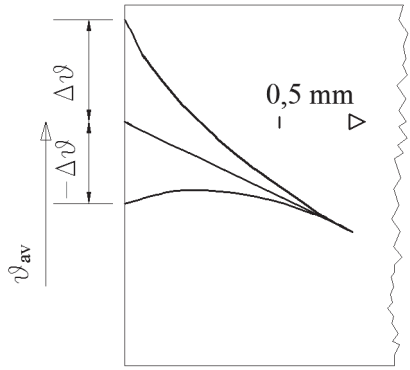
Instacionárius működési állapot, amikor a hőmérséklet egy vékony anyag rétegben periodikusan állandóan változik.

A szerszám teljes térfogatában nem stabil hőállapotú, a hőmérsékletváltozás felmelegedés-lehűlés formájában..

A forgó szerszám mindig instacionárius állapotban dolgozik. A hő beáramlásának időtartama ϕ = 15–25° fordulatonként. A teljes fordulat fennmaradó részében a szerszám éle, felülete hűl. Ezért az él környezetében a hőmérséklet nagyon változó az állandó érték körül.

- A késben kialakuló hőmérsékleti mező számos tényezőtől függ:
- a kés geometriai jellemzői, a kés anyagának hővezető képessége, hőmérséklet vezetőképesség és annak fajhője;
- a valódi hőáram kisebb, mint az elméleti érték mind az élen, mind a homlokfelületen, mivel a súrlódás visszafordíthatatlan folyamat.
- Intenzív hőátadás történik a gyorsan forgó szerszámok felületén, amely részben csökkenti a hőmennyiséget és a kést hűti, miközben a szerszám forog a levegőben,

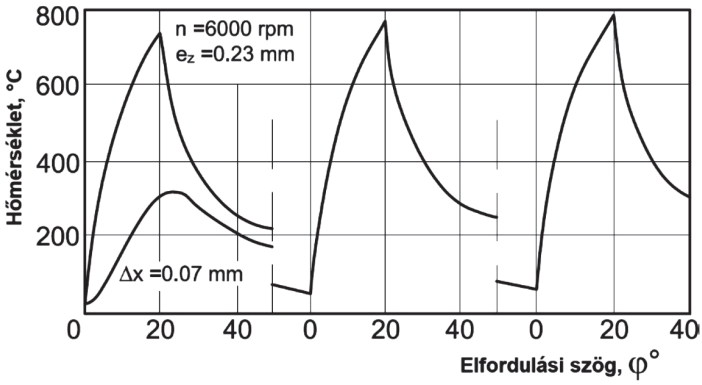
- súrlódási hő keletkezik a forgács és a szerszám érintkezési felületén, így a hő egy kisebb része áramlik a forgácsba, a nagyobb rész a késbe áramlik,
- további lehetséges pontatlanság származik abból, hogy a szerszám és a fa között a tényleges súrlódási együttható nem mérhető a vágási folyamat során. A rendelkezésre álló súrlódási együttható értékeket a forgácsolóerő mérések határozzák meg.



Hőmérséklet lengés a szerszám felületi rétegében.
(Sitkei et al. 1990, Csanády (lásd mellékelt ábrákat) (Magoss 2013)

A forgácsolás közben két fajta módszert alkalmaztunk a hőmérsékletmező meghatározásához.

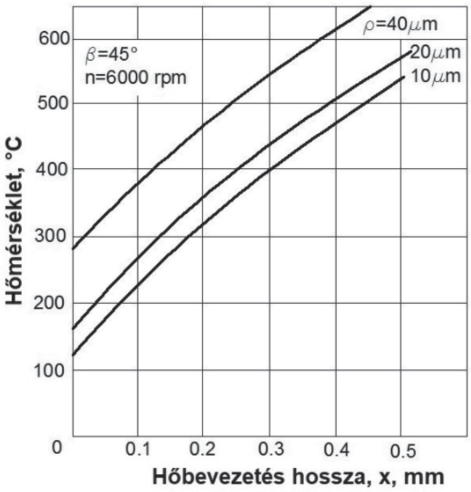
1. Hőmérsékletmérés termoelemekkel, egy időben több helyen:
2. Végeselem modell alkalmazása a hőmérséklet meghatározására a mérhetetlen helyeken. A modell átfedésben van a méréssel megállapított pontokkal is, a számításnál alkalmazott peremfeltételek helyessége érdekében.



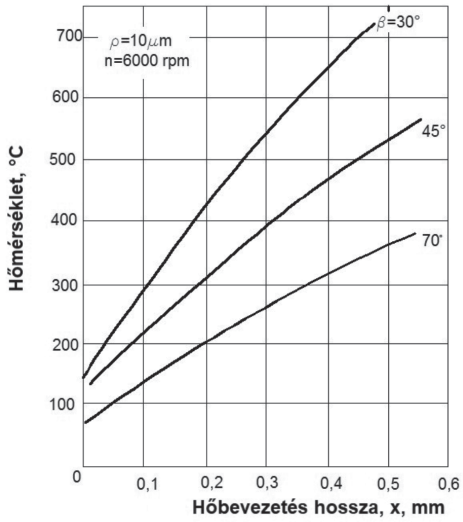
Az első három hőbevezetési ciklus az instacioner melegedési folyamatban a szögelfordulás függvényében. Maximális hőmérséklet 600 °C felett.
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

A kutatásokból az alábbi következtetések vonhatók le:

– a faforgácsoló szerszámok hőterhelése elsősorban súrlódási hőből származik;
– a nagy kerületi sebesség nagy súrlódási teljesítményt és következésképpen magas felületi hőmérsékletet eredményez;
– a magas felületi hőmérséklet a kopás egyik fontos oka, mivel az anyagok lágyulnak és a magas hőmérsékletű korrózió következik be
– az élfelület magas ciklikus hőmérséklet-változása ciklikus hőstresszt okoz, amely a felület kipattogzását okozhatja;
– a kopott élű szerszám élhőmérséklete mindig nagyobb, mint egy éles szerszámé, ami tovább fokozza a kopás intenzitását (lásd mellékelt ábrákat).



Kialakuló hőmérséklet a forgácsvastagság (hőbevezetési hossz) és él kopottság függvényében (Csanády és Magoss 2013)



Kialakuló hőmérséklet a forgácsvastagság (hőbevezetési hossz) és élszög függvényében (Csanády és Magoss 2013)

A forgácsolás kinematikai viszonyai különféle szerszámoknál

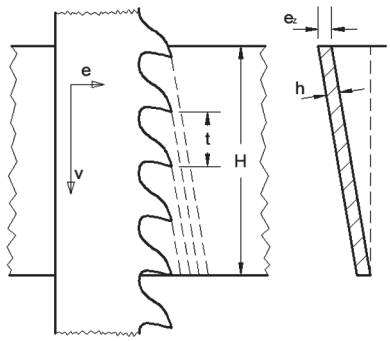
Fontos, hogy a faforgácsoló gépek és eszközök gazdaságosan és helyesen működjenek. Az optimális üzemi paraméterek és a gyártási költségek a feladattól függően változnak. A működési paraméterek szintén korlátozottak. Ezen határértékek túllépése akadályozhatja a gép vagy a szerszám biztonságos működését.

A legfontosabb működési paraméterek a következők:

- a szerszám kerületi sebessége,
- előtolási sebesség,
- egy fogra jutó előtolási sebesség,
- forgácsolási mélység.
- adott szerszám esetében az alábbi befolyásoló tényezők jelennek meg:
- időegységre eső forgácsolt térfogat, időegységre eső forgácsolt keresztmetszet,
- felületi érdesség és hullámosság, szerszámkopás,
- forgácsolási energiaszükséglet,
- megmunkálási költségek.

Szalagfűrész üzemeltetési viszonyai

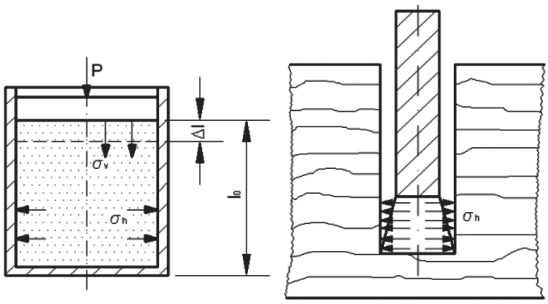
A szalagfűrész egyenes és egyenletes mozgást végez a forgácsolás során, miközben az anyag (munkadarab) a fűrészre merőlegesen halad.



Szalagfűrész szerszám kinematikai viszonyai, és forgácsképzés
(Csanády és Magoss 2013)

A forgácstérfogatnak illeszkedni kell a fogüreg térfogathoz, ez szerint $V_{fog} = V_{forgács}$. Mindezekből meghatározható a maximális elméleti előtolási sebesség az alábbi egyenlettel:

$$e_{theo} = \frac{V_g \cdot v}{\varepsilon \cdot H \cdot t \cdot b}$$

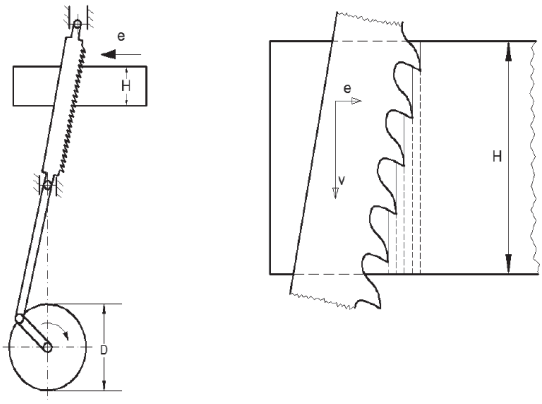


A forgács tömörödése és az oldalsó nyomás kialakulása a fogüregben (Sitkei et. al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

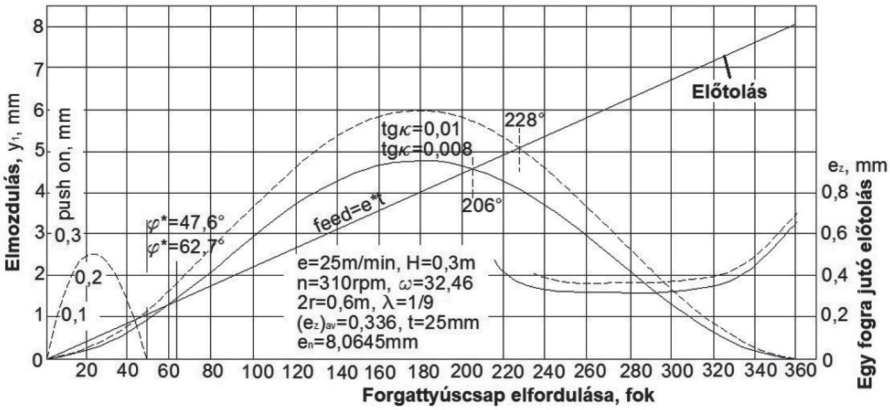
A forgács tömörítésének mérése azt mutatta, hogy csak 0,2–0,4 bar nyomásra van szükség 20–25% tömörítés esetén. Az ábra a tömörítés mechanizmusa és az oldalirányú nyomás alakulása a fogüregben. Az oldalsó nyomás koefficiens 0,25–0,35 között változik a statikus forgács halomban. Ha nagyobb mennyiségű forgácsot kényszerítünk a fogüregbe, mint a megengedhető, akkor a megnövekedett oldalirányú nyomás nagy súrlódási erőket generál, növelve a fog hőmérsékletét, miközben a vágóerő növekszik.

Keretűrész üzemeltetési viszonyai

A keretfűrész, ha mozgásban van, a hajtórúd véges hosszúsága miatt a mozgása eltér a harmonikus mozgástól.



A keretfűrész kinetikai viszonyai (Csanády és Magoss 2013)

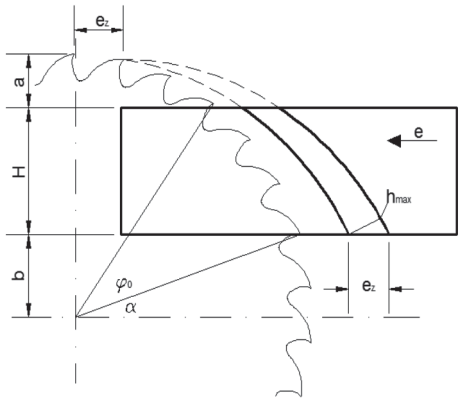


A keretfűrész munkadiagrammja két különböző előtolás értékre, fogtávolságra és rátolás a főtengely elfordulás függvényében (Csanády és Magoss 2013)

Az ábrán egyenes jelzi a fűrészlap előhajlást, a két görbe pedig két különböző előtolásnál mutatja a fűrészlap egy fogának helyzetét. Az egyenes és görbe metszéséig tart 0°-tól a foghát súrlódás.

Körfűrész üzemeltetési viszonyai

Az alábbi ábra a körfűrész kinematikáját mutatja. A körfűrész fogai ciklois pályát írnak le az anyaghoz viszonyítva.



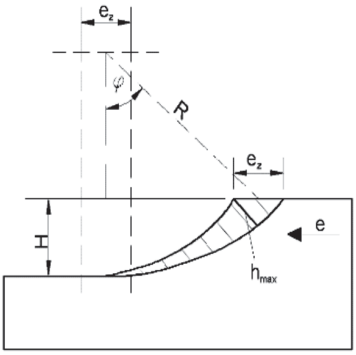
Körfűrészlap kinematikai viszonyai (Csanády és Magoss 2013)

Fontos, hogy minimálisra csökkentsük a munkadarab széleinek töredezését, itt döntően a laminált forgácslap a kritikus. A vágóerők iránya nagy hatással van az élminőségre. A tömörítő erők jobb vágási élet biztosítanak az élzáráshoz; ezért kerülni kell a

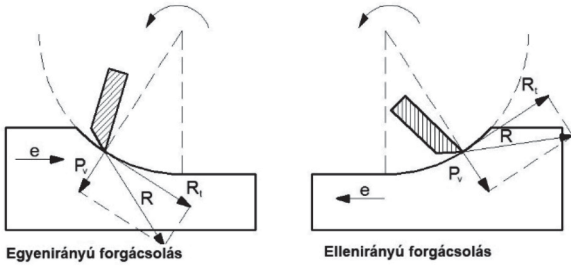
szélek közelében lévő húzóerőket. Az élkitörés minimalizálható a felső és az alsó élnél vagy mindkettőnél. A kísérletek szerint a munkadarab fölött a körfűrészlap túlnyúlása optimálisan 10 mm körül van.

Gyalu- és marószerszámok üzemeltetési viszonyai

A maró- és gyalugépek gépi kinematikai viszonyait az alábbi ábra mutatja. A szerszámélek a körfűrészekhez hasonlóan az anyagban ciklois pályát írnak le.

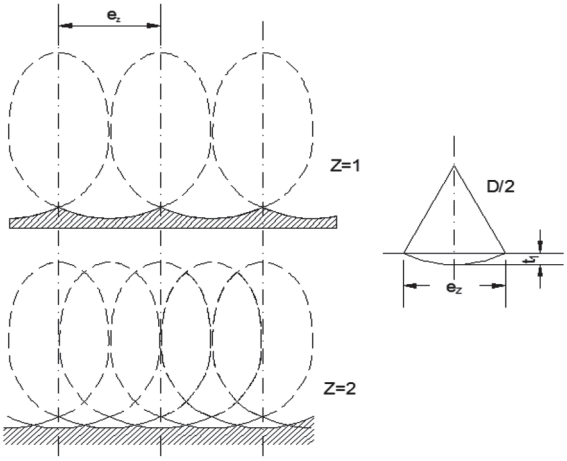


Gyalu és marógép kinematikai viszonyai (Csanády és Magoss 2013)



Egyenirányú és ellenirányú forgácsolás (Csanády és Magoss 2013)

Egyenirányú vágáskor a vágási erő vízszintes komponense egy irányba mutat az előtolási iránnyal. Ezért az anyag a szerszám alá kényszerül és magával ránthatja azt, az előtolási rendszer egyező irány miatt nem tart vissza. Kézi előtolás ezért ilyenkor nem alkalmazható. Ellenirányú forgácsolásnál a vágóerő vízszintes komponense ellentétes irányú az előtolás irányával.

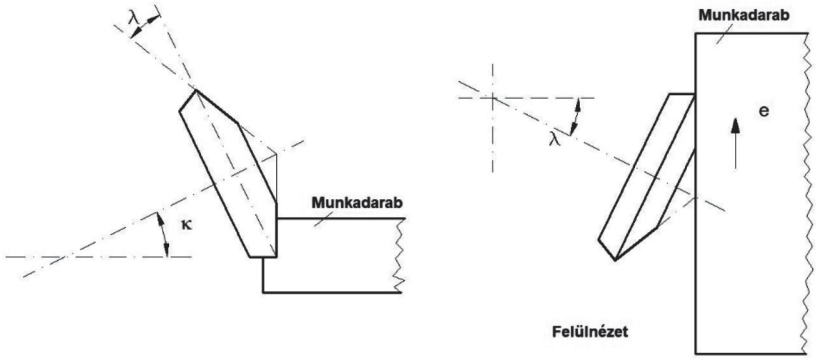


A forgácsoló kés útja ciklois pálya, hullámos lesz a felület (Csanády és Magoss 2013)

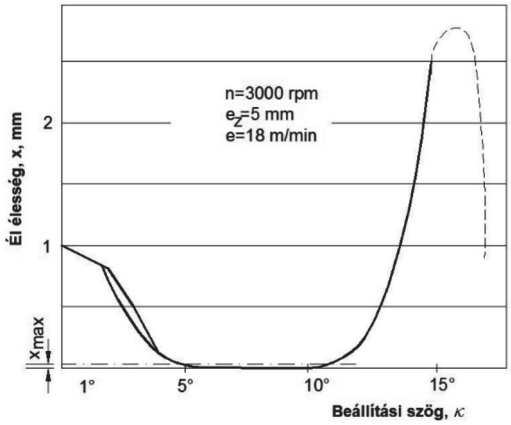
A marási és gyalulás művelet hátránya a ciklois út által okozott hullámos felület. A hullámosságot meghatározó tényezők a hullámhossz (t_1), amelyet a szerszám átmérője, a fogak száma és a forgácsolási sebesség, valamint az anyag előtolási sebessége határozza meg.

Az él forgácsolása egy kritikus kérdés mivel egy laminált forgácslap élének fűrészelése és marása, mert a szerszámél kilépésekor húzófeszültség lép fel, kitépi az él darabkáit, ezért úgy kell forgácsolni, hogy nyomó feszültség lépjen fel. Az alábbi elmélet ad választ a probléma megoldására. A forgácsolófejnek egy κ beállítószöge és egy λ billentési szöge van előrefelé. A λ dőlésszög a kés fent említett hiperbolikus pályáját eredményez, és vékony forgács alakul ki a munkadarab végén. Ez lényeges a jó felület és élminőség szempontjából. Az is fontos, hogy a forgácsolókör sokkal nagyobb legyen, mint a forgácsolófej átmérője.

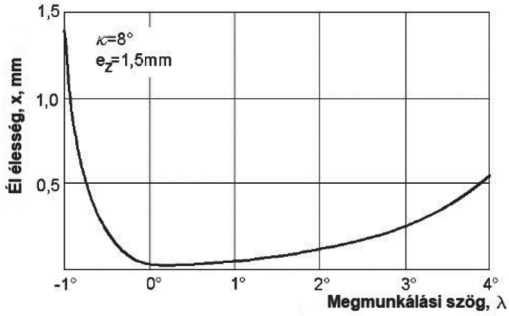
A nagyobb forgácsolási kör nagyobb összenyomási erőket biztosít, ami hozzájárulhat a munkadarab szélén való kisebb kitöréshez. A beállítási és a döntési szögek optimális választását csak kísérletekkel lehet megállapítani.



Beállítási és billentési szöge a szerszámtengelynek (Csanády és Magoss 2013)



Munkadarab élkitörés a beállítási szög függvényében (Csanády és Magoss 2013)



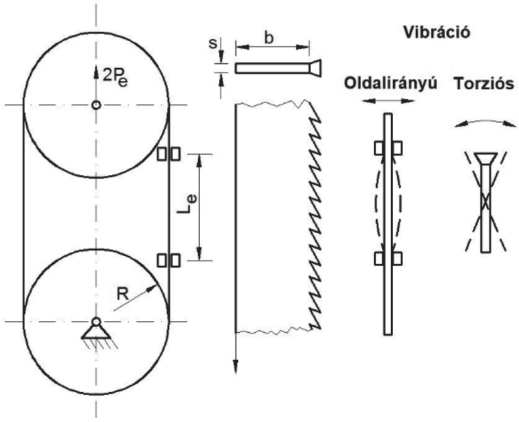
Munkadarab élminőség a döntési szög függvényében (Csanády és Magoss 2013)

Szerszám és munkadarab lengései

Ebben a témakörben mi elsősorban a munkadarab lengéseivel foglalkoztunk, amely közvetlen kapcsolatban van a felületi érdességgel. Elsőként ismertettünk konkrét összefüggést a munkadarab lengési amplitúdója és a felületi érdesség (R_z) között. Kimutattuk, hogy hosszú munkadarab megmunkáláskor az érdesség változhat a hossz mentén.

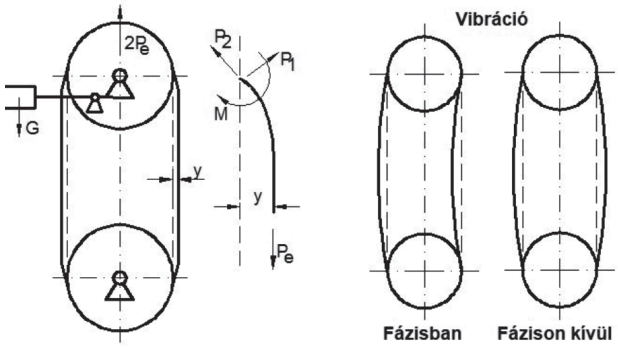
Szalagfűrész lengés

A szalagfűrész és az indukált rezgésformái láthatók az alábbi ábrán. Oldalirányú és torziós irányú rezgések fordulhatnak elő a befogásokon belül, és ezek szuperponálódnak.



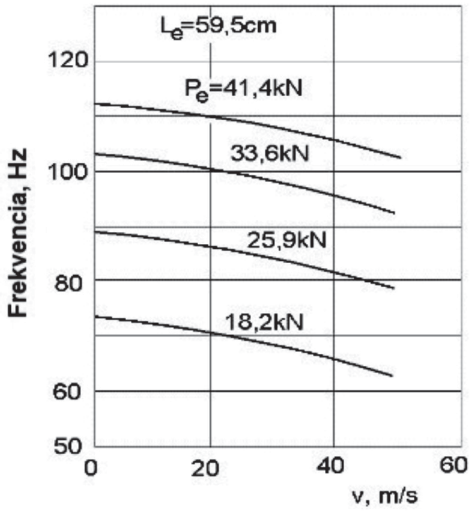
A szalagfűrész lengési formái (Csanády és Magoss 2013)

Fontos gyakorlati probléma a szalag állandó előfeszítése, amely befolyásolja a húzott és laza ág közötti frekvencia különbséget s ezzel az az általános lengésképet. A lengés amplitúdó növekedése növeli a vágási rést, a felület hullámosságát és a vágási pontatlanságot.



(ω_1) frequencia a vágási fázisban és (ω_2) frequencia nem vágó fázisban (Csanády és Magoss 2013)

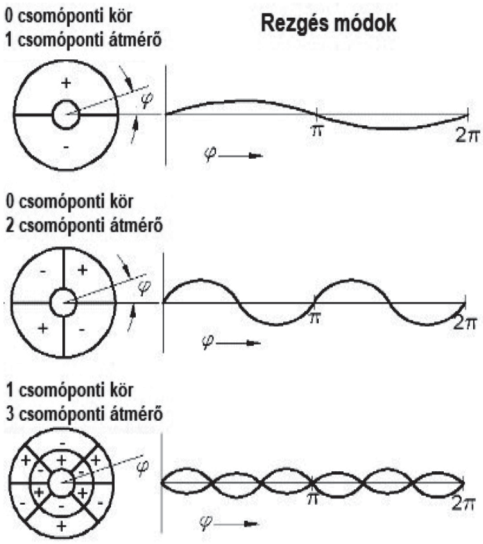
A fűrésszalag sebessége csak enyhén befolyásolja a természetes önlengésszámot. A sebesség növekedésével az önlengésszám 5–7%-kal csökken a 0–50 m/s sebességtartományban.



A fűrésszalag sebesség, előfeszítés és az önlengésszám kapcsolata (Csanády és Magoss 2013)

Körfűrészlap lengése

A forgó tárcsákon kialakuló rezgés formái az alábbi ábrán láthatók. A különböző rezgési formákat a csomóponti körök és a csomópontok átmérője jellemzi. A nulla csomópont és a nulla csomópont átmérője esetén a tárcsa teljes perifériája jobbra vagy balra hajlik. Nagyobb átmérőjű körfűrészlapoknál több csomóponti kör alakulhat ki, amikor egy másik hullám rendszer keletkezik a belső részen az ellenkező fázisban.



Forgó körfűrészlap rezgésmódjainak vázlata (Csanády és Magoss 2013)

A körfűrész lapok fontos jellemzője a kritikus fordulatszám, amikor a forgás sebessége megegyezik a hullámfutás sebességével. Ez az állapot a tárcsa stabilitását és vágási pontosságát alapvetően rontja.

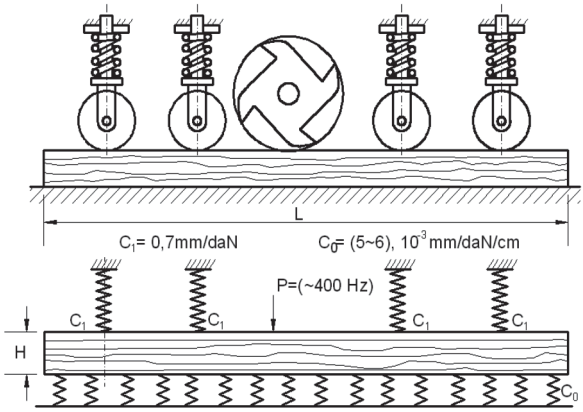
A munkadarab lengése

A megmunkált munkadarab lengő rendszert képez az által, hogy a forgó szerszám rezgésamplitúdókat okoz, miközben a faanyag a gépen átfut. A rezgés elmozdulások rontják a feldolgozás pontosságát és a felületi minőséget, így a rezgés értékét a lehető legalacsonyabb szinten kell tartani.

A munkadarab rezgése számos tényezőtől függ, ezek a következők:

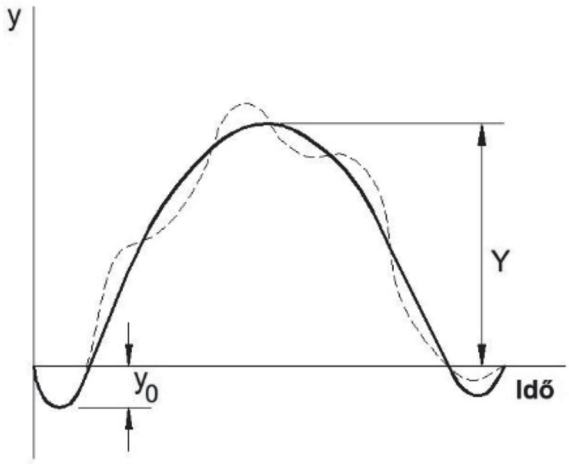
- a munkadarab vastagsága és hossza.
- a gerjesztő erők és a pillanatnyi határfeltételek a megmunkálás helyéhez viszonyítva.
- A határfeltételek a nyomógörgők pozícióját, előfeszítését és a rugós merevséget jelentik.

A kísérleti eredmények egy többfejes gyalugépről származnak, de a kapcsolatok implicit módon a vastagsági- és egyengető gyalu, valamint marógépekre is vonatkoznak.



Vázlat egy vastagoló gyalugépről és annak mechanikai modellje
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

A rendszer szabad rezgést és kényszer rezgést végez. A rezgés nagyon aszimmetrikus, mivel a rugó állandója nagyon különböznek a tömeg két oldalán, és nem kapcsolódnak egymáshoz. Az ábrán látható fejlődő rezgésképet erősen aszimmetrikusan láthatjuk.

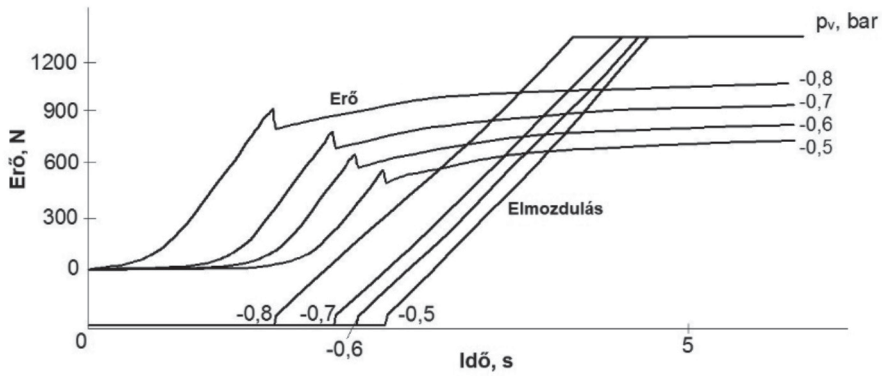


A munkadarab aszimmetrikus lengése a rúgók és a gépasztal irányába
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

A mérési eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a munkadarab lengési amplitúdója egyértelműen növeli a felületi érdességet.

Munkadarab vákuumos lefogása

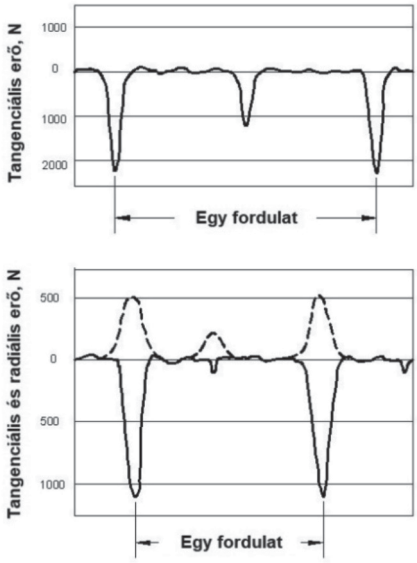
A számítógéppel vezérelt maró- és megmunkáló központok képviselik a vezető faipari technológiát. A megfelelő méretpontosság és a maximális minőség elérése érdekében a munkadarabot biztonságosan rögzíteni kell a gépen. A sima felületű munkadarabok leggyakoribb rögzítési módja vákuummező. A vákuumnyomás függőleges erőt generál lefelé, és a vízszintes súrlódási erő megakadályozza a munkadarab elmozdulását bármilyen irányban. A rögzítőasztal felülete négyzetrács mintázatú hornyokat tartalmaz. A kívánt méretű és alakú vákuumterületet úgy alakíthatjuk ki, hogy gumi profilokat helyezünk a hornyokba. A vákuumszivattyú általában maximális 0,8–0,9 bar vákuumnyomást tesz lehetővé.



Munkadarab elmozdulást szimuláló modell. Különböző vákuumértékeknél munkadarab elmozdításhoz szükséges erőváltozás és az elmozdulás (Csanády és Magoss 2013)

A befogott munkadarab dinamikus viselkedését (szerszámél forgácsoláskor fellépő ütése) egy inga terhelő eszköz által kifejtett ütközési erőkkel lehet vizsgálni. Az ütés jellemzői, például az alakváltozás, az erő, a sebesség és a lassulás az ütközés során kiszámíthatók. A forgácsolóerő a nem teljesen mereven megfogott darabban lengéseket generál. Ha a forgácsoló él a darabbal annak különböző helyzetében találkozik, a forgácsvastagság különböző lehet.

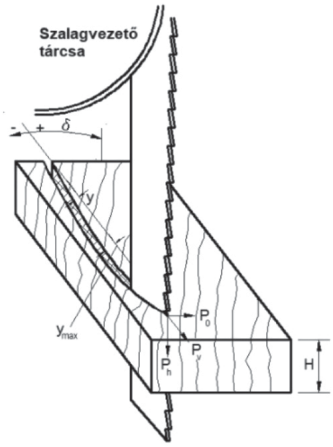
Az első esetben a fordulatonkénti előtolás elég nagy (e_n = 1,67 mm), és a munkadarab elmozdulása ugyanabba az irányba, mint a következő vágóélnél, a fogást felére csökkeneti. A második esetben a fordulatonkénti előtolás 0,83 mm, a második vágóélnek gyakorlatilag nem is forgácsol. Az él csak érintkezik a munkadarabbal, amelyet a radiális erő jelez. A rezonancia elkerülése érdekében meg kell változtatni a fordulatszámot. Ha minden második vágóél nem vág, a felület általában hullámos karaktert mutat.



Kétélű szerszám aszimmetrikus forgácsolása (munkadarab lengés)
(Csanády és Magoss 2013)

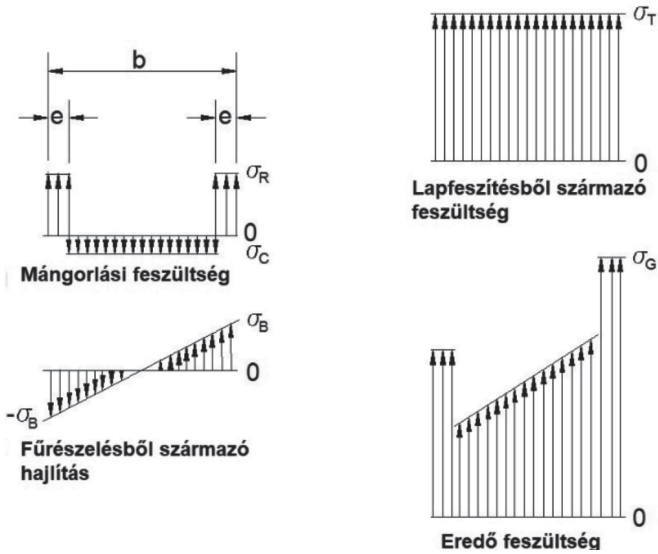
Faforgácsoló szerszámok stabilitása

A megmunkálás csak akkor tudja kialakítani a munkadarab elvárt alakját, méretét és felületi minőségét, ha a szerszám stabilan és túlzott vibráció nélkül működik. A stabilitási problémák (hasonlóan az általános mérnöki gyakorlathoz) a vékony és karcsú szerszámoknál jelentkeznek. Az ilyen típusú szerszámok elsősorban a nagy átmérőjű fűrészek, szalagfűrészek és körfűrészek. A vágási pontosságot befolyásoló főbb működési és szerszámtervezési tényezőket az alábbiakban foglaljuk össze: fűrészlap méretei (szélesség, vastagság, átmérők, a vágási fesztáv szabad hossza, fogosztás és alak) fűrészlapok előkészítése (melegedés, előfeszítés mángorlással, köszörülési pontosság) működési paraméterek (lapsebesség, fogelőtolás, vágási magasság, vágási szélesség, faanyag tulajdonságai, fogélesség).



Fűrésszalag kitérése a túlzott előtolási sebesség miatt
(Csanády és Magoss 2013)

A fűrészlapok (szalagfűrészek, körfűrészek és keretfűrészlapok) alkalmazott előfeszítési eljárás körülbelül 100 éve létezik. A lapok megfeszítése magában foglalja a fűrészlap hideghengerlését hossz- vagy kerületi irányban két keskeny görgő között. Az eredő feszültség kialakulását a mellékelt ábra mutatja,



Szalagfűrészlapban fellépő feszültségek (mángorlás + előfeszítés + hajlító feszültség) (Csanády és Magoss 2013)

A mesterséges feszültség bevitel azt a célt szolgálja, hogy a fogzóna mindig húzott állapotban legyen a vágási pontosság érdekében. A vágási pontosság azonban az egy fogra eső előtolás növekedésével nő, mivel gerjesztő erők egyre nagyobbak lesznek. (Csanády és Magoss 2013).

A forgácsolás energetikája, teljesítményszükséglet

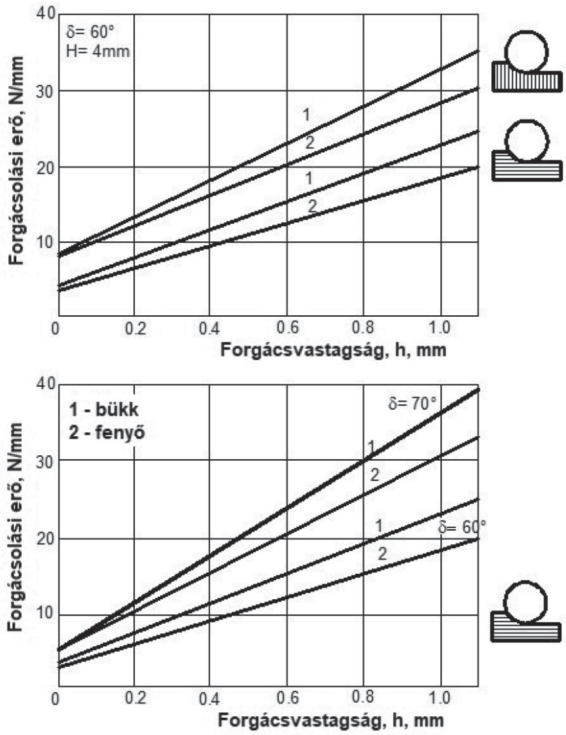
A forgácsolás energiaszükségletének fő törvényszerűségei 1980-ig szintén hiányoztak. A Faipari Géptani Tanszék maga is sok mérést végzett, főleg szalag- és keretfűrészekkel. Az elméleti alapok birtokában általánosan használható összefüggéseket kerestünk és találtunk, majd később dimenzió nélküli számok segítségével teljesen általános összefüggésekhez jutottunk, beleértve a csiszolási művelet energiaszükségletét is.

A famegmunkálási műveletek energiafogyasztása a teljes termelési költség jelentős részét teszi ki. Ezért fontos a megfelelő szerszámok kiválasztása optimális működési paraméterekkel.

A forgácsolás elméletének tárgyalása során levezettük és bebizonyítottuk, hogy az egységnyi szélességre eső forgácsolóerő kifejezhető az egyszerű lineáris egyenlettel.

$$\frac{P_h}{b} = A + B \cdot h$$

Az egyenletben szereplő A és B állandó a fa mechanikai tulajdonságaitól, a vágás irányától és a szerszám δ forgácsolási szögétől (vagy γ dőlésszögétől) függ. A mellékelt ábra mutatja a forgácsolóerők változását fenyő és bükk esetében a forgácsvastagság függvényében különböző vágási irányok és vágási szögek esetén.

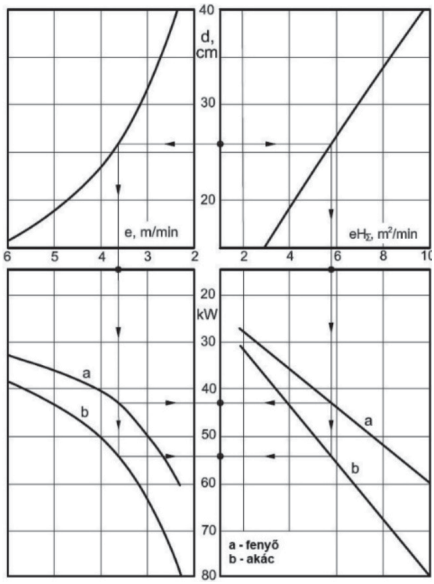


A vágóerő változása a vágás irányától és vágási szögétől függően δ, bükk (1) és fenyő (2) esetén (Csanády és Magoss 2013)

Keretfűrészgép energia szükséglete

Az optimális üzemi paraméterek kiválasztásához munkadiagramra van szükség (Sitkei et al. 1988). A kiindulási pont a rönk átmérője és ebből kapjuk a maximális előtolási sebességet és a vágási felületet egységnyi idő alatt. Továbbá a diagram alsó részében találjuk a különböző fafajták teljesítményigényét.

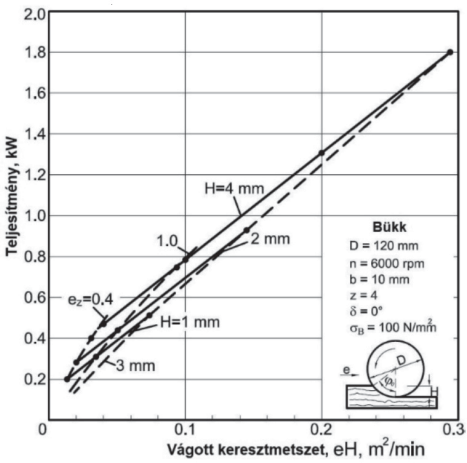
Az egy köbméter fa vágásához szükséges teljesítmény a rönk átmérőjétől függ, és gyorsan növekszik d = 25 cm alatt. Általában 4–5 kWh/m^3 fajlagos energiabevitellel számolhatunk (Sitkei et al. 1988).



Keretfűrészgép munkadiagrammja
(Csanády és Magoss 2013)

Energiaszükséglet gyalulásnál és marásnál

A gyalu és a marógépek a faipari klasszikus forgószerszámokkal rendelkeznek. Használhatjuk őket az előtolás irányához viszonyítva egyenirányú vagy ellenirányú forgácsolásban. A perifériás erő nagysága gyakorlatilag független az előtolás irányától, de az egyenirányú vágás általában jobb felületminőséget eredményez. A teljesítmény igényt alapvetően az egységnyi időben vágott keresztmetszet határozza meg. Ezért rönkvágó szalag- és körfűrészek teljesítménye igénye nagy lehet.



Energia igény marásnál
(Csanády és Magoss 2013)

Természetes faanyagok felületi érdessége

A termékek felületi érdessége, színe fontos kritériumai minőségük meghatározásának. Az egyes alkatrészek gyártásának célja – ennek megfelelően – a méret és alakpontosság, valamint a megfelelő felületi érdesség elérése. A gyártás mindig valamilyen pontatlansággal tudja előállítani a tervértékeket. Ezeket a különbségeket, két osztályba, makró és mikro eltérésekként kategorizálják. A makrocsoport az alak-, méret- és pozíció eltéréseket foglalja magában, míg a mikró kategória a hullámosságat és az érdességet. Alapvetően a továbbiakban a felületi érdesség kutatási eredményeire fókuszálunk, de a hullámossággal és egyéb méretjellemzőkkel történő összefüggéseket is tárgyaljuk.

Az anyagok mechanikai megmunkálása során többnyire a szerszám nyomok, pályák, okozzák a felületi hullámosságat. Homogén anyagok esetén általában a szerszámrezgésekkel azonosítják a felületi érdesség fő kiváltó okát, más, általában kisebb nagyságrendű hibaokok mellett (Sander 1993). Faanyag esetében, az anatómiai felépítés miatt bonyolultabb a megoldás. Így az érdesség létrejöttének további különböző okai lehetnek: a ridegtörés különböző formái, az anyagban lévő üregek, a szerszám élének véges lekerekítési sugara, a szabad vágás jelenségét kísérő lokális deformációk, stb. (Kisselbach és Schadoffsky 1996; Devantier 1997; Magoss és Sitkei 2000; 2003; Kilic et al. 2006).

Az érdesség általában elsősorban az anyagok esztétikai megjelenését befolyásolja, de lehetnek más hatásai is. Az érdes felület faanyagok esetében akkor lehet különösen kedvezőtlen, ha a szerszám éle alatt a felület maradó deformációt szenvedett. A roncsolt felület stabilitása alapvetően csökken, a kezelt felületek tartóssága nem lesz megfelelő.

Az esztétikai megjelenést, a színhatást elsősorban a fény szórása és visszaverése befolyásolja. Szemléletes példa erre az átlátszó üveglap, amelyet ha homokkal finoman érdessé teszünk, elveszti átlátszó képességét. A fa eredeti színét sokkal jobban megmutatja, ha a felület „fényes", vagyis sima, egyenetlenségektől mentes. A faanyagok esetében erre jó példa az ébenfa, amely fekete színe teljesen más hatású, lehet a felület simaságától függően. A polírozott felület fényes fekete szint ad. A színtelen lakkal, olajjal vagy viasszal bevont felület is teljesen más színhatású lesz (Sitkei 2013).

A faanyagok elérhető minimális felületi érdessége sok mindentől függ. Általában mondható, hogy az anatómiai felépítés, és az alkalmazott megmunkálási eljárás egy bizonyos minimális érdességet nem tud átlépni (Magoss 2008).

A faanyagok érdessége igen sok tényező együttes hatásaként jön létre, ezért az általános törvényszerűségek megtalálása sokáig váratott magára. Az utóbbi évtized új elgondolásai és a modern méréstechnika lehetővé tette az alapvető törvényszerűségek felismerését, illetve a kétdimenziós felületi érdesség jellemzést, kiterjeszteni három dimenzióra.

Az érdesség mérőszámai

A felületi érdesség kutatás egyszerűbb megértése érdekében röviden ismertetjük az érdességi paraméterek jelölési rendszerét. A felületi érdesség számszerűsített jellemzésére érdességi paramétereket szabványosítottak. Az ISO 4287 szabvány három profilt azono-

sít, hullámossági profilt (*W*), elsődleges profilt (*P*) és érdességi profilt (*R*). Ezekből származtatott érdességi paraméterek jelölése utal, melyik profilból származik, és a paraméter indexe határozza meg, hogy melyik paraméterről is van szó. Az ISO 25168 szabványban kerültek megadásra a felületi 3 dimenziós érdességi paraméterek, ezeknek jelölése *S* betűvel történik. A szabványosított paraméterek mellett kutatók speciális érdességi jellemzőszámokat is alkalmaznak, mint például az összevont Abbott érdességi parméterek, paraméter viszonyok, valamint Abbott viszonyok (Csanády és Magoss 2020) vagy az úgynevezett struktúra szám (Magoss 2008).

A fa felületi érdesség kutatása

A faanyag felületi érdesség minősítése az emberi érékszervekkel kezdődött, majd egyszerű mérőeszközökkel történt, így használták az élvonalzókat, összehasonlító etalonokat. Az első méréseknél használt „műszer" – az emberi szem mellett – a kézen található ujj volt. Az ember ujjbegye illetve körme meglepően jó mérőeszköznek tekinthető, 0,1 mm-nél kisebb lépcsők kimutatására is alkalmas (Tatai 2008). Ugyanakkor a számszerűsített, reprodukálható adatokat érzékszervi vizsgálatokkal nem lehet előállítani faanyag felületi érdességének jellemzésére (Sandak és Tanaka 2002, 2004; Sinn et al. 2008). Az első mérési eljárások már számszerűsíthető eredményekkel szolgáltak, de mélyebb elemzést nem tettek lehetővé, mint például a Flemming-féle gél terülési teszt. A reprodukálható mérési eredményeket a méréstechnika fejlődése tette lehetővé. Az 1990-es évekig alkalmazott mérési eljárásokat foglalja össze a következő táblázat (Thomas 1998).

Felületi érdesség mérésének módszerei (Thomas 1998)

	Tapintófejes technika	Optikai mérések	Egyéb technikák
Számszerűsíthető eredmények	– Mechanikus berendezések – Elektronikus berendezések	– Visszatükröződésen alapuló (Specular reflectance) – Teljes integrált szórás (Total integrated scatter) – Irányelolszlás (Angular distribution) – Direkt Fourier-transzformáció – Ellipszometria	– Mechanikus eljárások (STP, SCPM, SICM, LFM, MFM stb.) – Elektronikai eljárások (kapacitív alapú berendezések, nagyfrekvenciás váltóáramú berendezések) – Fluid technikák – Akusztikus technikák
Képi megjelenítés	Mért felület képi megjelenítése (felületi háló)	– Optikai metszetek (Optical sections) – Optikai tapintók (Optical probes) – Interferométerek	– Vékony metszetek (Taper Sectioning) – Elektronmikroszkópia (TEM, SEM) – Pásztázó mikroszkópok (STM , AFM, SNAM)

Meg kell jegyezni, hogy Thomas összefoglalása óta jelentős előrelépést a confocal mikroszkópok felületi érdesség mérésre történő alkalmazása jelenti.

Faanyagok felületének jellemzésére a legáltalánosabban alkalmazott eljárás a mechanikus tűs letapogatás. Ez egy olyan érintéses felületmérő eljárás, melynek során a térbeli felület struktúráját egy vonal mentén, tapintótű segítségével letapogatjuk. A tű függőleges irányú kitéréseit elektromos jellé alakítva egy vonalmenti, kétdimenziós érdesség profilt kapunk, melyből a profil paraméterek meghatározhatók. Az optikai eljárások méréstechnikai fejlesztése ellenére is, több kutató továbbra is ezt az eljárást tekinti etalonnak a fa felületek mérése tekintetében (Gurau és Irle 2017; Sandak és Tanaka 2002), mivel a természetes faanyagok felületi érdességének mérésekor a mechanikus tűs letapogatás pontosabb eredményeket szolgáltat az optikai elven működő berendezéseknél (Westkämper et al. 1995). Különösen nagyedényes fafajoknál okoz problémát, hogy a felületen elhelyezkedő átvágott mély edények falán a kamera elveszti a fókuszpontot („nem lát le az edény aljára") és amíg az edényfal másik oldalán újra meg nem találja azt, hibás jelet szolgáltat. Erre a méréstechnikai problémára jelent megoldást a confocal mikroszkópia, melynek mérési elve lehetővé teszi az optikai eljárások legnagyobb korlátjának számító mélységélességi tartomány kiterjesztését. Az eljárás mérési elve azon alapszik, hogy kioltja azokat a visszaverődő fénysugarakat, melyek nem a fókusz pontba érkeznek. Ráadásnak ezt úgy teszi lehetővé, hogy nagyobb mintaszámot tesz lehetővé, azaz jobb felbontást alkalmaz, mint amit a tűs letapogató berendezések lehetővé tesznek (Caja et al. 2018).

Egyes érdességi paraméterek értékét kevésbé (P_a), míg másokét jelentősen (P_t, P_z, P_{max}) befolyásolja a mérés pozíciója (Molnár 2011). A paraméterek értékeinek változása természetesen fafajonként is eltérő, hiszen a homogénebb fenyő felületekről származó eredmények alacsonyabb, míg a nagyedényes lombos fafajok felületéről kapott eredmények magasabb szórásértékkel rendelkeznek. Egyes érdességi paraméterek értékeiben még homogénebb, teljesen általános felületekről származó eredmények esetén is előfordulhat több mint 50%-os eltérés az ugyanarról a felületről származó mérések között, sőt etalon felületeknél is adódhat akár 15%-os eltérés is (Thomas és Charlton 1981). További nehézség, hogy a mérőberendezések két szabványosított szűrési eljárása, a 2RC és fázis korrekt szűrő (GS), melynek feladata a hullámosság és az érdesség szétválasztása, a faanyag esetén gyakran hibás eredményt okoz. A hiba oka a faanyag anatómiai felépítésének esetleges periodicitásában keresendő, ezért egyes kutatók speciális szűrők alkalmazására tettek javaslatot (Indof és Mahovic 2000; Csiha 2003; Fujiwara et al. 2001, 2003). A kialakuló érdesség felületkezelési, illetve ragasztási műveletek miatt is fontos (Hiziroglu et al. 2014; Molnár 2018).

Az első optikai úton működő érdességmérő berendezések szintén kétdimenziós profilt regisztráltak a felületről, de anélkül, hogy mechanikai kapcsolat jött volna létre a mérendő felület és a mérőfej között. A továbbfejlesztett optikai vagy más néven lézeres letapogató berendezések mér 3 dimenziós felületek felvételére is alkalmasak. A fafelületek inhomogenitása gyakran meg is követeli a felület értékelését a minőségét illetően (Molnár 2018). Fa és faalapú anyagok esetén a kétdimenziós profilok egymás mellé sorolásával

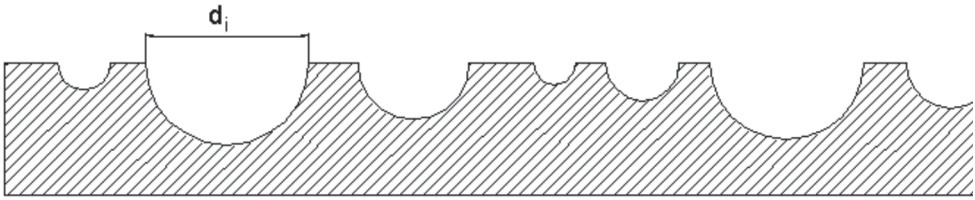
generálhatók ugyan háromdimenziós felületek, de az így kapott felületek érzékenyek a mérési irányra, illetve a mérési felületre (Pierre Larricq et al. 2000), ezen kívül az eljárás időigényes.

Az első 3D-s topográfiákat Greenwood és Williamson az 1960-as években rögzítették egy „mikro kartográf" berendezéssel (Dowson 1979). Mára a digitális technika adta lehetőségeknek köszönhetően többféle elvet használó optikai mérőrendszer létezik, melyek általában gyors és megbízható mérést tesznek lehetővé. Fontos azonban megjegyezni, hogy az optikai 3 dimenziós mérőeljárások természetes faanyag esetén vezethetnek hibás mérési adatokra, mivel az éles színeltéréseket gyakran méreteltérésnek regisztrálják, valamint a reflexió is gyakran okoz mérési hibát, ezért faanyagnál történő alkalmazásuk esetén nagyon körültekintően kell eljárni (Molnár 2018). Tehát a faanyag anatómiai felépítése, színeltérései és felületi mikro kitöredezési miatt az optikai mérési eljárások csak korlátozottan, bizonyos feltételek mellett alkalmazhatóak. Például a light sectioning (Peters és Cumming 1970; Yang et al. 2006) és az image analysis (Faust 1987) módszerek, csak bizonyos esetekben szolgáltattak megbízható eredményt. A faanyag reflexiója okozza a legnagyobb problémát az optikai eljárások alkalmazása során (Funck et al. 1992; Sachsse 1994; Lundberg és Porankiewicz 1995; Larricq et al. 2000; Goli és Sandak 2016).

A különböző gyártási eljárásokkal készített felületekkel szembeni elvárások egyre növekednek (Udupa et al. 2000). Fa felületek esetében a mikro érdességet alapvetően nem csak a mechanikai megmunkálási műveletek határozzák meg, mint homogén anyagszerkezet esetében, hanem az anatómiai felépítésnek is jelentős hatása van. A hatás mértéke függ a megmunkálási paraméterektől, és a fafajtól is. Általánosan megállapítható, hogy minél optimálisabb felületi megmunkálást alkalmazunk, annál jobban növekszik az anatómiai érdesség hatása, és szintén ebben az irányban hat, a változatos anatómiai felépítés, különösen a nagyedényes fafajok esetében. Már itt meg kell jegyezni, hogy fa esetében a mechanikai megmunkálás után kialakuló felületet nem tekinthetjük stabilnak, hiszen mind a nedvesség, mind a napsugárzás első esetben rövid időn belül, második esetben hosszabb idő után-, de jelentős változásokat okoz. Míg általában a mechanikai megmunkálás során az a cél, hogy minél simább felület jöjjön létre, faanyag ragasztása esetén gyakran az érdesebb felület eredményezi a nagyobb ragasztási szilárdságot (Hiziroglu et al. 2014).

A fa forgácsoláselméletét McKenzie (1960), dolgozta ki, majd Fischer és Sitkei fejlesztette tovább (Fischer és Schuster 1993; Sitkei 1983; Sitkei et al. 1990; Sitkei 1994). A legújabb átfogó kutatási eredményeket Gottlöber, illetve Csanády és Magoss publikálta (Gottlöber 2014; Csanády és Magoss 2013, 2020). A fa forgácsoláselmélet szisztematikus kutatómunkájának volt a része a fa felületi érdességének kutatása, melynek első mérföldköve az alapösszefüggések felállítása volt (Magoss 2008). A különböző forgácsolási paraméterek hatásának vizsgálata (szerszám kerületi sebesség, kopás, forgácsolás iránya, egy fogra eső előtolás) vizsgálatra került az anatómia hatása is. A kutatás első fázisának egyik legfontosabb eredménye, hogy sikerült definiálni azt a minimális érdességet, ami alá az iparilag alkalmazott megmunkálások esetén, nem lehet csökkenteni a felületi érdességet. Ennek jellemzésére bevezetésre került a struktúra szám ΔF. Ezzel lehetővé vált a „fafaj"

mint változó helyettesítése számszerűen kifejezhető változóval. Valamint bevezetésre került az R_{sk} és R_{ku} eloszlási paraméterek használatát, és meghatározásra került kapcsolatuk a szabványos érdességi paraméterekkel (Magoss 2008; Csanády et al. 2015).



A felületi érdesség modellje (Rajzolta: Magoss Endre)

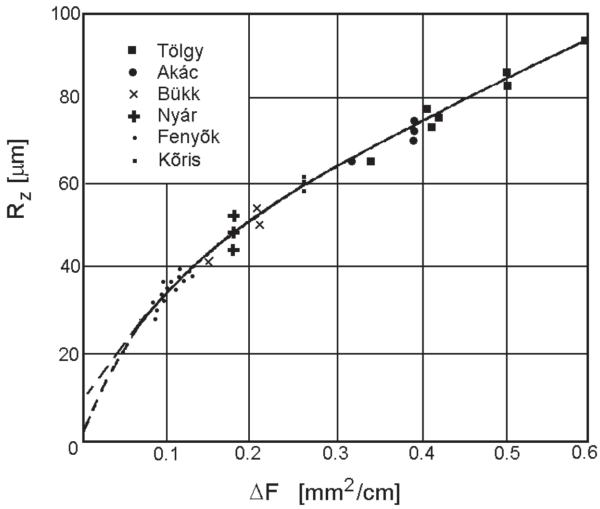
$$\Delta F = \frac{\pi}{8}\left[a \cdot \left(\sqrt{n_1} \cdot d_1^2 + \sqrt{n_2} \cdot d_2^2\right) + b \cdot \left(\sqrt{n_3} \cdot d_3^2 + \sqrt{n_4} \cdot d_4^2\right)\right] \qquad [\mathrm{cm}^2/\mathrm{cm}]$$

ahol n_1, n_2 – az edények és tracheidák száma a korai pásztában egységnyi hosszon mérve,

n_3, n_4 – az edények és tracheidák száma a kései pásztában egységnyi hosszon mérve,

d_1-d_4 – az edények és a tracheidák közepes átmérője a korai és a kései pásztában (egyenként értelmezve),

a, b – a korai és a kései pászta részaránya.



Az egyenetlenségi mélység R_z és a struktúra szám DF összefüggése 10 fafaj esetében (Magoss 2008)

A mechanikai megmunkálás során egyrészt a sejtfal törése miatt, másrészt a szerszám él felületi nyomása miatt a fafelületeken a felső anatómiai építőelemek összeroppannak, létrehozva egy bizonytalan felületi réteget. Ennek a rétegnek a vastagsága függ a fafajtól és a forgácsolási paraméterektől, körülményektől. Ez a réteg a környezet hőmérsékletének és nedvességtartalmának hatására jelentős változáson megy keresztül. ennek a változásnak a regisztrálására Molnár vizsgálati módszert dolgozott ki (Molnár 2018; Molnár et al. 2018; Magoss et al. 2019, 2020). Fontos megjegyezni, hogy a mechanikai megmunkálás során a szerszám él, nem tökéletesen vágja át az anatómiai elemeket, azaz részben fedett üregek révén az érdesség kisebb lesz, mint amit az elméleti anatómiai érdesség okozna. Ezt támasztja alá a hibamentes felületeken alkalmazható, úgynevezett Japán gyalulási kézműves megmunkálással készített fafelületek vizsgálata (Sitkei és Csanády 2017).

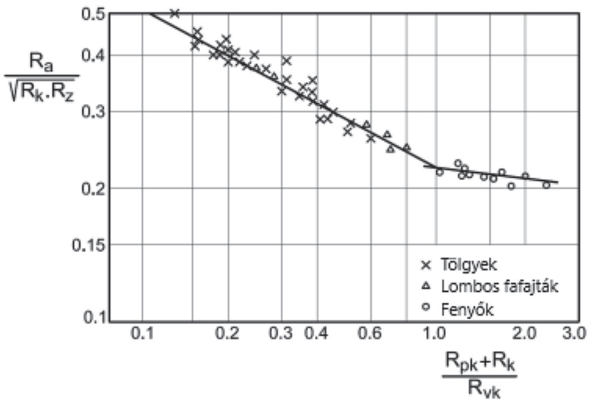
A további általánosítást alapvetően segíti a bevezetett Abbott viszonyszám, amelyek segítségével az igen összetett hatások szétválaszthatók (Csanády et al. 2019). Fontos paraméternek bizonyult a késél illetve a csiszolószemcse sugara, amely egyértelműen meghatározza az érdesség egyes paraméterét (Csanády et al. 2015, 2019)

Jelenleg a magyar kutatócsoport az „érdes felületek hasonlósága" témán dolgozik, amely további általánosítást hozhat ebben a fontos témakörben. A fotódegradáció érdességre gyakorolt hatását Tolvaj és társai vizsgálták (Tolvaj et al. 2014).

A sok befolyásoló tényező miatt a fa felületi érdességének meghatározása bonyolult feladat (Gurau és Irle 2017; Thoma et al. 2015; Laina et al. 2017; Magoss 2017), ezért a belső összefüggések feltárása alapvető feladat.

Az érdességi paraméterek kiválasztása az adott kutatási feladatra, szintén nagy körültekintést igénylő feladat. Egyetlen szabványosított érdességi paraméter alkalmazása, még homogén szerkezetű anyagoknál sem vezet megfelelő eredményre (Dong et al. 1994). Fontos megjegyezni, hogy faanyag felületi érdességének jellemzésére nagyon jó kiegészítő információkat szolgáltat az összevont Abbott paraméterek (R_{pk}+R_k+R_{vk}) és (S_{pk}+S_k+S_{vk}) alkalmazása (Csanády és Magoss 2012; Csanády et al. 2015).

A kifejlesztett függvénykapcsolati rendszer képességét jelzi, hogy az összes fafaj érdessége, bármilyen megmunkálás mellett, egy görbével leírható.



Az Abbott viszony és az érdességi paraméterek hasonlósági összefüggése (Csanády és Magoss 2012)

A confocal mikroszkópia relatív új mérési eljárás a fa felületi érdesség kutatásában, de más homogénebb szerkezetű anyagok vizsgálatánál sikerrel alkalmazták (Lange et al. 1993; Klauer et al. 2018; Udupa et al. 2000; Hongru et al. 2017; Al-Shammery et al. 2007; Fu et al. 2018). A mérési módszer faanyagra történő alkalmazási határainak feltárása jelenleg zajlik.

Faanyag megmunkálásának optimalizálása

A faipari műveletek optimalizálása a korábbi 40 év kutatási eredményeire épült. Eredményes és korrekt optimalizáláshoz ugyanis szükség van a jelenségeket leíró függvénykapcsolatok rendszerére, amely hosszadalmas mérési és feldolgozási munkát igényel. Jellemző, hogy a megjelent optimalizálási könyvünkben a függvénykapcsolatok rendszere 140 oldalt tesz ki. A szigorú matematikai módszer mellé kifejlesztettünk egy „mérnöki optimalizálási módszer”-t, amely, a numerikus módszerrel szemben, sok esetben zártalakú, analitikus megoldást tett lehetővé, ugyanolyan pontosság mellett. Az új módszer előnyét Lagrange (1770) híres feladatán, az „Optimális rúd” példáján keresztül mutattuk be. Lagrange a feladatot, számolási nehézségek miatt, még nem tudta megoldani. 200 évvel később (1974) bonyolult numerikus módszerrel oldották meg. Mi analitikusan, zárt alakban levezettük. Könyvünk egy tucat kidolgozott optimalizálási feladatot ismertet.

A természet ősidők óta képes a jelenségeit optimálisan megszervezni. Az emberiség is régóta törekszik arra, hogy természetes vagy mesterséges eljárásokat alkalmazzon az optimális vagy a legjobb eredmény elérése érdekében. Az emberiség az elmúlt évszázadokban tudományos, többnyire matematikai módszereket fejlesztett ki az optimális megoldások keresésére, különböző kritériumok alapján. Minden optimalizálás alapvető követelménye egy jól definiált célfüggvény és annak kényszerfüggvényei. Általában olyan optimális megoldás érdekel bennünket, amely több kritériumnak is megfelel. Például arra törekszünk, hogy a lehető legrövidebb gyártási idő mellett optimális termelési költséget érjünk el. Ebben az esetben többszempontú optimalizálással találkozunk több célfüggvénnyel és megszorítással. Mivel több célfüggvény optimuma ütközik, az általános optimumot vagy a hasznosságfüggvény használatával, vagy kompromisszumokkal kapjuk meg. A cél- és korlátozófüggvények helyesen megfogalmazhatók olyan funkcionális összefüggések használatával, amelyek a kimeneti paraméterek függését a befolyásoló változók függvényében írják le. Ilyen funkcionális összefüggések például a különféle famegmunkáló gépek üzemi paraméterei, energiaigénye, szerszámélettartam-viszonyok, felületi érdesség stb.

Általános jellemzők

A fatermékek gyártója érdekelt a szükséges gyártási műveletek (megmunkálás, felületkezelés, összeszerelés stb.) elvégzésében a teljes gyártási idő és költség minimalizálása, valamint a termék minőségének maximalizálása érdekében. Ez a tevékenység körültekintő és sokoldalú döntéshozatalt igényel, amely egy megfelelően kiválasztott optimalizáláson

alapul, hogy a befolyásoló tényezők közül a legjobb értéket válasszuk ki, ami a termék lehető legmagasabb hasznosságát és esztétikai értékét biztosítja minimális összes gyártási költség mellett. Ennek a tevékenységnek az első lépése a gyártórendszer problémahatárainak, a rendelkezésre álló gépek és képességeik (forgási sebesség, orsóteljesítmény, előtolási sebességek, megmunkálási pontosság), megmunkálási költségek és egyéb géppel kapcsolatos költségek felvázolása, minőségi követelmények (felületi érdesség, tűrésköve-telmények). Ki kell választani és meg kell határozni egy célfüggvényt, egy mennyiségi kritériumot, amely meghatározza a rendszerváltozók optimális kiválasztását. Ahhoz, hogy a célfüggvény a szükséges korlátozó feltételekkel megvalósuljon, olyan funkcionális kapcsolatokra van szükség, amelyek a rendszer viselkedését rendszerváltozók függvényében fejezik ki (Csanády és Magoss 2019). Ez a tevékenység lényegében rendszermodellt fogalmaz meg és állít fel az adott optimalizálási probléma megoldására. Hangsúlyozni kell, hogy egy optimalizálási folyamat sikere alapvetően a rendelkezésre álló funkcionális kapcsolatoktól és azok megbízhatóságától függ. Általában, ha rendelkezésre állnak funkcionális összefüggések, akkor az optimális megoldás megtalálása még nem lineáris esetekben sem jelent matematikai problémákat. Ezért nagy jelentőséget kell tulajdonítani a funkcionális kapcsolatok legszélesebb körének kialakításának (Csanády és Magoss 2019). A megmunkálási optimalizálást tekintve a teljes termelési rendszer alrendszereként is kezelhető. Egy kisebb alrendszert egyénileg is kevesebb nehézséggel lehet megoldani, és figyelembe lehet venni az alrendszerek közötti lehetséges interakciókat. A célfüggvény egy kiválasztott kritérium matematikai megfogalmazása, amely alapján a gyártás költség értékelhető. Sokszor olyan gazdasági szempontot választanak, mint a minimális gyártási költség, maximális gyártási sebesség, minimális anyagfelhasználás, minimális energiafelhasználás, a gépkapacitás optimális kihasználása. A különböző kritériumok általában ellentétesek egymással. Több kritérium egyidejű maximalizálása vagy minimalizálása nem lehetséges. Az egyszerűsített eljárásban egy fő kritérium választható elsődlegesnek, a többi pedig másodlagosnak. A másodlagos kritériumokat az előírt maximális vagy minimális értékekkel rendelkező megszorításokként kezeljük. Ezért a döntéshozatal mindig kompromisszumokkal jár az elsődleges és másodlagos kritériumok fontosságuk szerinti kiválasztásában. Végül érdemes megemlíteni, hogy az optimalizálás gondolata a tudományban több száz éves. Lagrange már 1770 körül megfogalmazta híres „Optimális oszlop" problémáját (Csanády és Magoss 2019), a többkritériumú optimalizálást pedig 1900 körül javasolta Pareto (Stadler 1988).

A fatermékek méretezése, formázása, felület-előkészítése napjainkban is előfordul mechanikus famegmunkálási műveletekkel. A mechanikus famegmunkálásra jellemző a forgácsképzés, amelyet vágóéllel valósítanak meg. A vágóél működési elve nagyon hasonló a különböző famegmunkálási műveletekben, de a szerszámokon az élek elrendezése nagy változatosságot mutat. Ez alól kivételt képez az abrazív csiszolási eljárás, amely negatív dőlésszöget és a szemcsék véletlenszerű helyzetét alkalmazza. A csiszoló szerszámok a szabad vágómechanizmust élek nélkül használják. A szükséges ellenerőt az anyag erőssége és a tehetetlenségi erők biztosítják. A felületi deformációk nélküli tiszta vágás eléréséhez nagy vágási sebességre és éles élre van szükség. A puha fák kisebb szi-

lárdságúak és érzékenyebbek a kisebb vágási sebességekre. A furnérhasító gépek vágási sebessége kisebb, és az elfogadható felületi minőség elérése érdekében a nyomógerenda alkalmazása elkerülhetetlen. Nagyon fontos feladat a szerszámok megfelelő kiválasztása, élanyaga és konfigurációja, amely szoros összefüggésben van a szerszám várható élettartamával és felületi minőségével. A keményfém szerszámanyagok széles választéka áll rendelkezésre a fafeldolgozó ipar számára számos különféle felhasználásra. A különböző keményfém-minőségek különböző százalékos volfrám-karbidból és fémes kötőanyagból (kobaltból) állnak. Ezenkívül ezek a szerszámanyagok számos keményfém szemcseméretet alkalmaznak. A legáltalánosabb szemcseméret körülbelül 2 mikron, de vannak a mikron alatti tartományban is. A keményfém-kötőanyag arány és a szemcseméret változtatásával különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szerszámanyagok készülnek, hogy optimális teljesítményt biztosítsanak a különböző fafajták és kompozitok (kemény- és puhafa, MDF, forgácslap stb.) megmunkálásakor. A gyártás gazdaságosságát jelentősen befolyásolják a famegmunkálási műveletek, beleértve a késes megmunkálást és a csiszolást. Különféle kritériumok (objektív funkciók) állíthatók fel a maximális gyártási sebesség, a minimális gyártási költségek eléréséhez, de bizonyos esetekben a maximális szerszámélettartam is fontos lehet. Mindig figyelembe kell venni egy sor kényszert.

A megmunkálási paraméterek korlátai a következők:

- a rendelkezésre álló előtolási sebességek,
- a rendelkezésre álló forgási sebességek és vágási sebességek,
- az elérhető legnagyobb teljesítmény vagy nyomaték,
- stabil vágási terület, kivéve a vágási sebesség és az előtolási sebesség bizonyos kombinációit, amelyek vibrációt és a szerszám instabilitását okozzák.

A technológiai követelmények a korlátok másik osztálya, amelyek célkorlátozásnak tekinthetők:

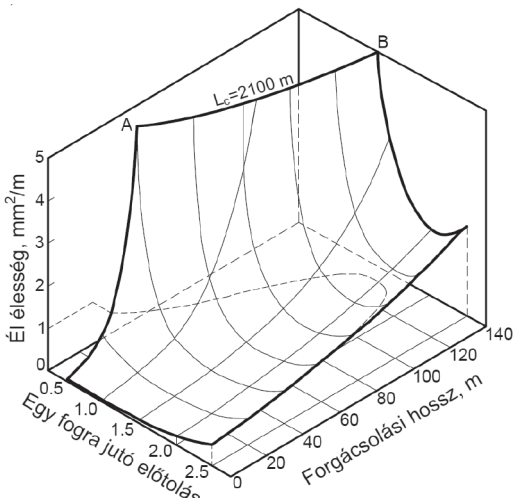
- a felület megengedett hullámossága,
- egy vagy több érdességparaméterrel meghatározott megengedett legnagyobb felületi érdesség,
- előírt méretpontosság,
- az anyageltávolítási arányt meg kell határozni vagy minimálisra kell korlátozni,
- a szerszám élettartama megadható a szerszámcserék közötti optimális idő elérése érdekében, vagy a szerszám minimális élettartamára korlátozható.

Faipari példa:

Az elterjedt marók használatával az éltörést az egy fog-előtolás és főként az él élessége illetve a forgácsolási hossz L_f befolyásolja.

A mellékelt ábrán látható eredményeket felhasználva a levezetett összefüggésekkel kiszámítható az L_f maximális előtolási hossz különböző feltételek mellett. Például, ha a megengedett élkitörés 1 mm^2/m, akkor a maximális élenkénti előtolási távolság L_f=82,1 m e_z=2,31 mm-es egy fogra jutó előtolásnál, ami élenként 677 m vágási távolságnak és e_z=14,7 előtolási sebességnek felel meg. Ha a megengedett élkitörést megduplázzuk (S=2 mm^2/m),

akkor a megfelelő értékek: L_f=179,8 m, L_c=1007,4 m, e_z=3,4 mm és e_n=21,6 m/min élenként. (Csanády és Magoss 2019). A kísérleti adatok alapján az optimális paraméterek kiválasztásához diagram szerkeszthető.



Élkitörés az fogra jutó előtolás és az előtolási hossz függvényében.
D = 180 mm, H = 2 mm, z = 1, v_c = 60 m/s. Forgácslap és keményfém él

A jövőbeni fejlődés irányai

Nehéz megfogalmazni a jövő várható irányait, döntő mértékben csökken az árfekvés miatt például bútorgyártásban a tömörfa felhasználás. Ezzel szemben nagy volumenű emelkedés történt a kompozit lapok felhasználásában. Itt számolni kell a kikeményedett ragasztóanyag szerszám koptató hatásával. Természetesen a műanyagok nagyon betörtek a bútorpiacra, persze bizonyos területeken. Ezek megmunkálásával kell számolni már a jelenben is.

Lézervágás

A Faiparai géptani Tanszéken ipari megbízásra diplomaterv készült a 1980-as években újonnan induló Falco cementkötésű üzeme lapszabászati megmunkálására. A kérdés az volt, hogy lehet-e lézervágást alkalmazni a lapok szabására. A válasz kísérletek elvégzése után egyszerű volt: nem alkalmas. A kísérleteket a BME-en végeztük, mivel az országban akkor csak ott volt lehetőség lézeres kísérleti vágásra.

Az eredmény:

A tökéletes hulladékmentes és egyenes vágás mellett alkalmatlanul alacsony az előtolási sebesség, ezzel szemben nagyon magas az energiaigény.

A lézervágás CNC vezérlésű intarzia vágásra alkalmas, ez azonban ma elfelejtett divatirányzat a bútorgyártásnál.

Víz+ kvarchomok vágás

A víz + kvarchomok vágás ismerős eljárás elterjedt alkalmazást nyert természetes kő, acélok és öntöttvasak vágásánál. Bár az utóbbi anyagcsoport vágása esetén lehet, hogy költség szempontjából sokkal kedvezőbb a lángvágás fémek esetében.

A faanyagok vágása és kérgezése esetén nagy nyomású vizet kell alkalmazni. Ez nagyon magas költség, továbbá az anyag helyi nedvesítésével újabb problémát okozunk a későbbi megmunkálásnál. Szárítani kell. Tehát nem alkalmas a megmunkálásra.

CNC technika

A cnc vezérlésű megmunkálás egyre több területre terjed ki, már messze nem csak lapelemek esetleg 3D-s elemek készülnek. Egyre több területen teljesen eltérő megmunkálási eljárásoknál is alkalmazásra került a cnc vezérlés. Döntő elem itt még az optimalizálás és a hulladék csökkentése.

Élanyagok

Jelenleg rendelkezésre álló élanyagok korszerűek bezárva a monokristályos gyémánttal. Ami a palettáról hiányzik az a kerámia lapok használata. Nem voltak jelentős kutatások és a nagy szerszámgyártók még nem használják.

Irodalom

Al-Shammery H., A. Bubb N. L., Youngson C. C., Fasbinder D. J., & Wood D. J. 2007: The use of confocal microscopy to assess surface roughness of two milled CAD–CAM ceramics following two polishing techniques. Dental materials, 23(6): 736–741.

Caja García J., Sanz Lobera A., Maresca P., Fernández Pareja T., & Wang, C. 2018: Some considerations about the use of contact and confocal microscopy methods in surface texture measurement. Materials, 11(8), 1484.

Carter W. and K. Ragsdell. 1974: The optimal column. Trans. of the ASME, 71–76.

Csanády E. 1993: Faforgácsoló szerszámok hőterhelése (Thermal Load in Wood Cutting Tools). PhD Thesis, University of Forestry and Wood Sciences, Sopron, Hungary.

Csanády E. & Németh Sz. 2005: Investigation of Clamping on CNC Router. Proc. of 17th IWMS Rosenheim, 2005, 456–471

Csanády E. 2005: Thermal Load in Wood Cutting Tools. Proc. of 17th IWMS, Rosenheim, 28–43.

Csanády E. & Magoss E. 2013: Mechanics of wood machining. Berlin: Springer. 199 o.

Csanády E., Magoss E. & Tolvaj L., 2015: Quality of machined wood surfaces. Springer Verlag, Berlin, 257 o.

Csanády E., Kovács Z., Magoss E. & Ratnasingam J. 2019: Optimum design and manufacture of wood products. Springer, Heidelberg, New York.

Csanády E., Kovács Z., Magoss E. & Ratnasingam J. 2019: Optimum Design and Manufacture of Wood Products. Springer, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 457 o.

Csanády E. & Magoss E., 2020: Mechanics of wood machining. Springer Verlag, Berlin 320 o.

Kocsis Z., Csanády E., 2019: Theory and practice of wood pellet production. Springer Verlag, 118 o.

Csiha Cs. 2003: Faanyagok felületi érdességének vizsgálata „P" és „R" profilon, különös tekintettel a nagyedényes fajokra, Doktori (Ph.D) értekezés, Sopron

Стахиев, Ю. 1984: Работоспособностъ плоских круглых пил.(Working capacity of circular saws.). М.: Изд. Лесная Пром. – 384 с.

Стахиев, Ю. 1977: Устойчивость и колебание плоских круглых пил.(Stability and vibration of circular saws.) Изд. Лесная Пром. 296: 5.

Déry J. 1985: Spanungsuntersuchungen an einer Blockbandsäge. Act Fac. Lign. Sopron, 43–52.

Devantier B. 1997: Prüfmethode zur objektiven Bewertung der Rauhigkeit und Welligkeit von Holzwerkstoffen. Absclußbericht IHD Dresden.

Dobrindt P. 1991: Optimiertes Schleifen von MDF- und Spanplatten. Workshop Tagungsband, 8. Holztechn. Koll. Braunschweig, 125–136.

Dong W. P., Sullivan P.J. & Stout K.J., 1994: Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography: III. Parameters for characterizing amplitude and some functional properties. Wear 178(1-2): 29–43.

Dowson D. 1979: History of tribology, Longman Inc., New York.

Faust T. D. 1987: Real time measurement of veneer surface roughness by image analysis. Forerst Product Journal 37(6): 34–40.

Fischer R. & Schuster C. 1993: Zur Qualitätsentstehung spanend erzeugter Holzoberflächen. Mitteilung aus dem Institut für Holztechnik der TU Dresden.

Fu S., Cheng F., Tjahjowidodo T., Zhou Y., & Butler, D. 2018: A non-contact measuring system for in-situ surface characterization based on laser confocal microscopy. Sensors, 18(8): 2657.

Fujiwara Y., Fujii Y., & Okumura S. 2003: Effect of removal of deep valleys on the evaluation of machined surfaces of wood. Forest Products Journal, 53(2): 58.

Fujiwara Y., Fujii Y., Sawada Y., & Okumura S. 2001: Development of a parameter to reflect the roughness of a wood surface that corresponds to tactile roughness A novel filter to exclude local valley effects. Holz als Roh-und Werkstoff, 59(5): 0351–0355.

Funck J.W., Forrer J.B., Butler D.A., Brunner C.C. & Maristany A.G., 1992: Measuring surface roughness on wood: a comparison of laser scatter and stylus tracing approaches. SPIE 1821: 173–184.

Garcia I. 2005: New developments in ultrafine hardmetals. Proceedings 17th IWMS, Rosenheim, 534–542

Gogu G. 1997: Elastic Stability and Vibration on Circular Saws. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 181–192.

Goli G. & Sandak J. 2016: Proposal of a new method for the rapid assessment of wood machinability and cutting tool performance in peripheral milling. European Journal of Wood and Wood Products 74(6): 867–874.

Gottlöber C. 2014: Zerspanung von Holz und Holzwerkstoffen: Grundlagen–Systematik–Modellierung–Prozessgestaltung. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Gurau L. & Irle M. 2017: Surface roughness evaluation methods for wood products: a Review. Current Forestry Report 3: 119–131.

Gurau L., Mansfield-Williams H. & Irle M. 2001: A comparison of laser triangulation and stylus scanning for measuring the roughness of sanded wood surfaces. In: Bučar, B. (ed.) Proceedings of the 5th International Conference on the development of wood science, wood technology and forestry. Ljubliana. Slovenia. 5–7 September 2001, 299–310.

Hiziroglu S., Zhong Z. W., & Ong W. K. 2014: Evaluating of bonding strength of pine, oak and nyatoh wood species related to their surface roughness. Measurement, 49: 397–400.

Hongru A., Xiangqin L., Shuyan S., Ying Z., & Tianqing L. 2017: Measurement of Wenzel roughness factor by laser scanning confocal microscopy. RSC advances, 7(12): 7052–7059.

Indof D. & Mahovic S. 2000: 2D and 3D approach to measuring roughness parameters. Proceedings of 16th International measurement confederation, Vienna, 121–126.

ISO 13565-1:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties – Part 1: Filtering and general measurement conditions.

ISO 25178-2:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.

ISO 4287, 1997. Geometrical product specification (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters.

Kilic M., Hiziroglu S. & Burdurlu E. 2006: Effect of machining on surface roughness of wood. Building and environment, 41(8): 1074–1078.

Kisselbach A. & Schadoffsky O. 1996: Gefräste Oberflächen als Eingangsgröße für die Schleifbearbeitung und Lackierung. Tagungsbericht Bielefeld.

Klauer K., Eifler M., Seewig J., Kirsch B. & Aurich J. C. 2018: Application of function-oriented roughness parameters using confocal microscopy. Engineering Science and Technology, an International Journal, 21(3): 302–313.

Laina R., Sanz-Lobera A., Villasante A., López-Espí P., Martínez-Rojas J.A., Alpuente J., Sánchez-Montero R. & Vignote S. 2017: Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions on surface roughness of wood. Maderas. Ciencia y Tecnología 19(2): 203–212.

Lang M. 1999: Untersuchungen zur Entwicklung eines kombinierten Plan- und Umfangsfräsverfahrens mit ke-gelstumpförmigen Werkzeugen. PhD Dissertation, Dresden-Sopron.

Lang M. 1993: A Special Face Milling Method for Better Surface Quality and Service Life. Proc. of 11th Wood Machining Seminar, Oslo.

Lange D. A., Jennings H. M. & Shah S. P. 1993: Analysis of surface roughness using confocal microscopy. Journal of Materials Science, 28(14): 3879–3884.

Larricq P., Costes J.P., Le Breton P. & Cassou G. 2000: Quality surface characteristics in high speed machining. Proceedings of the International symposium on wood machining, Vienna, 203–209.

Lundberg IAS. & Porankiewicz B. 1995: Studies of non contact methods for roughness measurements on wood surfaces. Holz als Roh- und Werkstoff 53: 309–314.

Magoss E., Sitkei G. 2000: Strukturbedingte Rauheit von mechanisch bearbeiteten Holzoberflächen. Möbeltage in Dresden, Tagungsbericht, 231–239.

Magoss E. & G. Sitkei. 2001: Fundamental Relationships of Wood Surface Roughness at Milling Operations, Proceedings of the 15th International Wood Machining Seminar. 2001, 437–446.

Magoss E. & G. Sitkei. 2003: Optimum Surface Roughness of Solid Woods Affected By Internal Structure and Woodworking Operations, Proceedings of the 16th International Wood Machining Seminar. 200, 366–371.

Magoss E., G. Sitkei & M. Lang 2004: Allgemeine Zusammanhänge für die Rauheit von bearbeiteten Holzoberflächen für Möbel, Möbeltage in Dresden.

Magoss E. 2008: General regularities of wood surface roughness. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 2008(4): 81–93.

Magoss E. 2009: Természetes faanyagok felületi érdessége. Egyetemi jegyzet. Soproni Egyetem.

Magoss E. 2017 Evaluating of surface roughness of sanded wood. Wood Research 60(5): 783–790.

Magoss E., Molnár Zs., Suri V. & Fuchs I. 2019: Evaluating of wetting-induced effects on the surface stability of sanded wood. Wood Research 64(3): 401–410.

Magoss E., Tatai S., Molnár Z. & Fuchs I. 2020: A calibration method of the laser triangular measuring system to evaluate wood surface roughness. Wood Research, 65(4): 555–564.

McKENZIE W.M. 1960: Fundamental aspects of the wood cutting process. Forest Products Journal. 10(9): 447–457.

Molnár Zs. 2011: A mért felület nagyságának hatása a természetes faanyag felületi érdességére, Diplomamunka, NymE-SKK Gépészeti és Mechatronikai Intézet, Sopron.

Molnár Zs. 2018: A végmegmunkált természetes faanyagok felületi stabilitása nedvesítéskor (Doctoral dissertation, NymE).

Molnár Zs., Magoss E., Fuchs I. & Csiha C. 2018: Stability of thermosmoothed and precision planed solid wood surfaces. European Journal of Wood and Wood Products, 76(1): 243–249.

Mote C. D. & Szymani R. 1977: A review report on principal developments in thin circular saw vibration and control research: Part 1: Vibration of circular saws. Holz als Roh-und Werkstoff, 35, 189–196.

Mote C. D. & Szymani R. 1977: A review report on principal developments in thin circular saw vibration and control research: Part 2: Vibration of circular saws. Holz als Roh-und Werkstoff, 35, 219–225.

Mote F. & R. Marchal. 2001. Influence of Nosebar Settings on Tool Instabilities in the Peeling Process. Proc. of 15th IWMS Los Angeles, 309–328.

Orlowski K. & Wasielewski R. 2001: Washboarding during Cutting on Frame Sawing Machines. Proc. of 15th IWMS Los Angeles, 219–228.

Pahlitsch G. & Putkammer K. 1976: Beurteilung für die Auslenkung von Bandsägeblättern. Holz als Roh- und Werkstoff, 413–426.

Peters C.C. & Cumming J. D. 1970: Measuring wood. Surface smoothness: A review. Forest Products Journal 20(12): 40–43.

Ratnasingam J. & Scholz F. 2004: Wood sanding process. University Putra Malaysia.

Renshaw A. 1999: Centripetal Tensioning for High Speed Circular Saws. Proc. of 14th IWMS Paris, 129–135.

Sachsse H. 1994: Die Beurteilung von Holzoberflächen (Evaluation of wood surface roughness). Holz-Zentralblatt Kolloquium Tharand 69(11): 38–39.

Saljé E. & Dubenkropp D. 1983: Das Kantenfräsen von Holzwerkstoffplatten. Holz- und Kunstoffverarbeitung. No. 4: 490–494.

Saljé E. & Drückhammer J. 1984: Qualitätskontrolle bei der Kantenbearbeitung. Holz als Roh- und Werkstoff, 187–192.

Saljé E. & Drückhammer J. 1985: Kantenschartigkeitmessengen an beschichteten Spanplatten. Holz-Zbl. 1782–1784.

Sandak J. & Tanaka C. 2002: Evaluation of surface smoothness by laser displacement sensor. In: Proceedings on the 3rd International science conference. Zvolen, Slovakia, 17–19 October, 112–118.

Sandak J., Tanaka C. & Ohtani T. 2004: Evaluation of surface smoothness by a laser displacement sensor II: comparison of lateral effect photodiode and multielement array. Journal of Wood Science 50(1): 22–27

Sander M. 1993: Oberflächenmeβtechnik für den Praktiker. Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen. 48 o.

Satoru N. 2005: Stable Sawblade. Proc. of 17th IWMS Rosenheim, 418–420

Schadoffsky O. 1996: Objektive Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenqualität. Tagungsbericht Bielefeld.

Scholz F. & Ratnasingam J. 2005: Optimization of Sanding Process. Proc. of 17th IWMS Rosenheim, 422–429.

Siklinka M. & Ockajova A. 2001: The Study of Selected Parameters in Wood Sanding. Proc. of 15th Int. Wood Machining Seminar Los Angeles, 485–490.

Sinn G., Sandak J. & Ramananantoandro T. 2009: Properties of wood surfaces – characterization and measurement. A review COST Action E35 2004–2008. Wood machining-micromechanics and fracture. Holzforschung 63(2): 196–203.

Sitkei G. 1983: Fortschritte in der Theorie des Spanens von Holz. Holztechnologie, No. 2: 67–70.

Sitkei G. 1986: Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier, Amsterdam–New York.

Sitkei G., Horváth M., Gurácz S., Déry J., Csanády E. 1988: Schnittleistung und Energiebedarf von Gattersägen. Acta Fac. Lign, 23–31.

Sitkei G. Horváth M. Gyurácz S. Déry J., Csanády E. 1990: Theorie des Spanens von Holz. Fortschrittbericht No.1. Acta Fac. Ligniensis, Sopron.

Sitkei G. 1994: A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 343–356.

Sitkei G. & Csanády E. 1994: Thermal Loading in Wood Cutting Tools. Proc. of the 1st Conf. on the Development on Wood Science, Buckinghamshire, UK, 359–368.

Sitkei G. & Horváth M. 1995: Log Dynamics during Sawing in Frame Saws. Proc. of 12th IWMS Kyoto, 327–334.

Sitkei G. 1997: On the Mechanics of Oblique Cutting of Wood. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 469–476.

Sitkei G. 2013: Further studies on the characterization of wood colours, Sopron. Department of Wood Engineering, University of Sopron.

Sitkei G. 2013: Similarity study oft he energy requirement of saws. Proc. Of 21st IWMS Conf. Tsukuba, 195–205.

Sitkei G., & Csanády E. 2017: Bericht über die messungen an mit Japanischem Hobel erzeugten Holzoberflächen. Institut für Holzbearbeitung, Universität von Sopron, Ungarn. 13 o.

Stadler W. 1988: Multicriteria optimization in engineering and sciences. Plenum Press, New York.

Stakhiev Y.M. 1998: Research on Circular Saw Vibration in Russia: From Theory and Experiment to the Needs of Industry. Holz als Roh- und Werkstoff. 56(2): 131–137.

Stewart H. 1989: Feasible High-Temperature Phenomena in Tool Wear. Forest Product J., (03): 25–28.

Sugihara H. 1977: Theory of Running Stability of Band Saw Blades Proc. 5th Wood Mach. Sem. UC For. Prod. Lab. Rich., CA., 99–110.
Tatai S. 2008: Vizsgálatok a felületi érdesség témakörében–I. rész. FAIPAR, 56: 27–30.
Taylor J. & S. Hutton. 1995: Simplified Bandsaw Tensioning Procedure for Improve Blade Stiffness and Sawing Accuracy. Forest Product Journal. 45(4): 38–44.
Thoma H., Peri L. & Lato E. 2015: Evaluation of wood surface roughness depending onspecies characteristics. Maderas Ciencia y tecnología 17(2): 285–292.
Thomas T. R. 1998: Rough Surface, Imperial Collage Press, London.
Thomas T. R. & Charlton G. 1981: Variation of roughness parameters on some typical manufactured surfaces, Precision Engineering 3(2): 91–96
Timoshenko S. & Goodier J. 1951: Theory of elasticity. New York.
Tolvaj L., Molnar Z., & Magoss E. 2014: Measurement of photodegradation-caused roughness of wood using a new optical method. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 134, 23–26.
Tröger J. & Lang M. 1990: Hobelfräsen mit vermindertem Wellenschlag. HOB, 11/1990, 43–49.
Udupa G., Singaperumal M., Sirohi R. S., & Kothiyal M. P. 2000: Characterization of surface topography by confocal microscopy: I. Principles and the measurement system. Measurement Science and Technology, 11(3): 305.
Ulsoy A. & Mote C. 1980: Analysis of Bandsaw Vibration. Wood Science, No. 1: 1–10.
Weaver W., Timoshenko S. & Young D. 1990: Vibration Problems in Engineering. John Wiley and Sons, New York.
Westkämper E. & Schadoffsky O. 1995: Oberflächentopographie von Massivholz – Einflüsse bei der messtechnischen Erfassung und Bewertung Teil 1 (Surface topography of wood. Part 1. HOB Wood processing); HOB Die Holzbearbeitung; AGT Verlag Thum; Ludwigsburg; 42 (3):74–78.
Westkämper E. & Schadoffsky O. 1995: Oberflächentopographie von Massivholz – Einflüsse bei der messtechnischen Erfassung und Bewertung Teil 2 (Surface topography of wood. Part 1.2. HOB Wood processing); HOB Die Holzbearbeitung; AGT Verlag Thum; Ludwigsburg; 42 (4): 50–54.
Wong D. & Schajer G. 1997: Effect of Wheel Profile in Bandsaw Tracking Stability. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 41–52.
Wu W. & Mote C. 1984: Analysis of Vibration in Bandsaw System. Forest Product J. Sept. 1984, 12–21.
Yang D., Jackson M. & Parkin R.M. 2006: Inspection of wood surface waviness defects using the light sectioning method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I. Journal of Systems and Control Engineering 220(7): 617–626.

History of Wood Processing Researches

The importance of economical processing and manufacturing of various wood products is ever-increasing. During technological processes, wood materials may be exposed to various mechanical effects, e.g. the interactions between wood materials and different kind of tools, and the general laws governing these interactions should be known.

Since 1980, our Department is systematically working on the development of basic theoretical knowledge for the whole range of wood engineering problems. First, it was needed to derive a new cutting theory for wood materials which is the basis for several particular topics. It was followed by the fundamentals of heat load in wood cutting tools which mainly determines the life-time of cutting tools The next important subject was the energy consumption of woodworking operations and the generalization of existing knowledge in the form of similarity equations. A further very important field was the surface roughness which is the important quality measure. In 2000, we introduced the Stucture Number uniquely characterizing the internal structure of wood species concerning surface roughness parameters. The quality of wood products is determined also by color and gloss. Here we conducted also fundamental researches and now we have colour measurements for 300 wood species from all over the world.

These fundamental research works made it possible to prepare 6 Springer books to summarized and generalize our knowledge. Our book on Optimization contain Functional Relationships of some (140) pages, which is unique in the world literature, but it allows to perform reliable optimization. A further unique feature is the developed Engineering Optimization procedure with many examples.