



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Dmitrij Malinin

POPIERIAUS PJOVIMO TIKSLUMO TYRIMAS

INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF PAPER CUTTING

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T206

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

(vardas, pavardė)

2011-_____

Dmitrij Malinin

POPIERIAUS PJOVIMO TIKSLUMO TYRIMAS

INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF PAPER CUTTING

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T206

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Mechanikos fakultetas

Poligrafinių mašinų katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Spaudos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Popieriaus pjovimo tikslumo tyrimas**

Autorius **Dmitrij Malinin** Vadovas **prof. habil. dr. Vytautas Kazimieras Augustaitis**

Kalba

☒ **X**

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Eksperimentiškai ištirtas popieriaus lapų pjovimo vienapeile mašina tikslumas. Tirta popieriaus rūšies, popieriaus gramatūros, pjaunamos šūsnies aukščio bei šūsnies prispaudimo jėgos įtaka pjovimo tikslumui. Išnagrinėtos pjovimo paklaidos ir jų atsiradimo priežastys. Pasiūlyti būdai, kaip padidinti pjovimo tikslumą. Tyrimo rezultatai panaudoti spaustuvėje.

Prasminiai žodžiai: Popieriaus šūsnies pjaustymas, pjaustymo mašina, pjovimo tikslumas.

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of Mechanics

Department of Printing Machines

ISBN ISSN

Copies No.

Printing Engineering study programme master thesis.

Title: **Investigation of the accuracy of paper cutting**

Author **Dmitrij Malinin** Academic supervisor **Prof Dr Habil Vytautas Kazimieras Augustaitis**

Thesis language

☒ X

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

The guillotine cutter paper cutting precision was investigated experimentally. The influence of the paper grade, grammage, pile height and pressing force on the cutting accuracy was determined. The origin and causes of the cutting inaccuracy were analyzed. Methods to increase cutting precision were proposed. Investigation results are used in the in the printing house.

Keywords Paper pile cutting, cutter, cutting precision.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	10
IVADAS	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1. Popieriaus pjaustymo mašinos ir jų klasifikacija	14
1.2. Peilio pavaros mechanizmai vieno peilio pjaustymo mašinose	14
1.3. Vieno peilio pjovimo mašinų prispaudimo mechanizmai	16
1.4. Popieriaus pjaustymo vieno peilio mašinomis problemos apžvalga literatūros šaltiniuose	18
1.5. Šūsnių pjovimo proceso vieno peilio pjaustymo mašinose ypatumai ir įvairių faktorių įtaka pjovimo tikslumui	29
1.5.1. Šūsnių presavimas ir deformavimas	29
1.5.2. Šūsnių deformacija nuo peilio	30
1.5.3. Lapų atskyrimas peiliu	33
1.5.4. Skirtingų faktorių įtaka pjovimo tikslumui	35
1.5.5. Faktoriai, kurie turi įtakos peilio kokybei ir jo našumui	38
Išvados	40
2. METODINĖ DALIS	41
2.1. Eksperimentų metodika ir sąlygos	41
2.2. Pastoviosios faktorių vertės	41
2.3. Kintamosios vertės	42
2.4. Bandymams pasirinktų popierių aprašymas	43
2.4.1. Ofsetinis popierius „Serixo“	43
2.4.2. Kreidinis popierius „Galerie Art Gloss“	43
2.4.3. Kreidinis popierius „Galerie Art Silk“	44
2.5. Metodiniai nurodymai	44
2.6. Matavimų skaičius	45
2.7. Įranga, matavimo prietaisai eksperimentui atlikti, peilių ir popieriaus paruošimas	45
2.7.1. Popieriaus pjaustymo mašina „Polar 92“	45
2.7.2. Popieriaus šūsnių aukščio matavimo prietaisas	47
2.7.3. Apipjautos popieriaus šūsnių lapų skirtumų matavimas	48
2.7.4. Eksperimentų duomenys ir jų analizė	50
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	51
3.1. Pasirinktų popierių lentelės pagal popieriaus rūšį, gramatūrą bei lapų storį	51

3.2. Ofsetinio popieriaus atplovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio	53
3.3. Kreidinio blizgaus popieriaus atplovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio	56
3.4. Kreidinio matinio popieriaus atplovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio	60
3.5. Popieriaus atplovimo tikslumas priklausomai nuo pjaunamos popieriaus šūsnies prispaudimo jėgos	64
BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	69
LITERATŪROS SĄRAŠAS	70
PRIEDAI	71

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Popieriaus pjaustymo mašinų klasifikacija pagal peilių skaičių ir paskirtį	14
1.2 pav. Dviejų kulisių peilio pavaros mechanizmas	15
1.3 pav. Dviejų svertų peilio pavaros mechanizmas	15
1.4 pav. Dviejų svertų peilio pavaros mechanizmas	16
1.5 pav. Prispaudimo ir pjovimo proceso diagrama	17
1.6 pav. Bendras reiškinių ir jėgų, veikiančių peilį šūsnes pjovimo metu, pobūdis	20
1.7 pav. Pagrindinių peilį veikiančių jėgų schema	20
1.8 pav. Reiškinių pjovimo plokštumoje pobūdis	21
1.9 pav. Pagrindinių jėgų, veikiančių peilį vertikaliai pavaizduotoje pjovimo plokštumoje schema	22
1.10 pav. Tenzorezistorių prijungimas ir jų sujungimas į elektrinius tiltus	25
1.11 pav. Jėgų oscilografiniai įrašai, pjaustant popieriaus šūsnį įrenginiu BR-110	26
1.12 pav. Peilio galandimas šlifavimo staklėmis	27
1.13 pav. Peilio ašmenų sukietinimas ritinėliais	28
1.14 pav. Lapų ištempimo jėga	30
1.15 pav. Šūsnes deformacija po peiliu	31
1.16 pav. Viršutinių lapų išlinkimas šūsnes pjovimo metu	32
1.17 pav. Lapų perpjovimo ir jėgų veikimo schema	33
1.18 pav. Šūsnes prispaudimas lygiu ir pleištinio spaudiklio paviršiumi	37
1.19 pav. Peilio užgalandimo kampai	39
2.1 pav. „Polar 92“ 2007 metų modelis	46
2.2 pav. „Polar 92“ pjaustymo mašinos schema	46
2.3 pav. „Polar 92“ skirtingų pjovimo mašinų modelių gabaritiniai matmenys	47
2.4 pav. Popieriaus šūsnes aukščio matavimas prieš eksperimentus	48
2.5 pav. Skaitmeninis slankmatis 150/D	48
2.6 pav. Skaitmeninis fotoaparatas „Kodak Easyshare z710“	48
2.7 pav. Popieriaus šūsnes lapų nuokrypio matavimo principas „Corel Draw Graphics Suite x5“ kompiuterinėje programoje	49
3.1 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnes aukščiui 30 mm	55
3.2 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnes aukščiui 60 mm	55
3.3 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnes aukščiui 90 mm	55

3.4 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm	59
3.5 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 60 mm	59
3.6 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm	59
3.7 pav. Kreidinio matinio popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm	63
3.8 pav. Kreidinio matinio popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 60 mm	63
3.9 pav. Kreidinio matinio popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm	63
3.10 pav. Ofsetinio popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingai šūsnies prispaudimo jėgai	65
3.11 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingai šūsnies prispaudimo jėgai	66
3.12 pav. Kreidinio matinio popieriaus atplovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos esant skirtingai šūsnies prispaudimo jėgai	67

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Reiškinių, atsirandančių esant skirtingai šūsnies presavimo jėgai ir skirtingam peilio aštrumui, pobūdis	31
1.2 lentelė. Grafiškai vaizduotos lapų perstūmimo krūvoje pobūdis pjovimo metu	34
2.1 lentelė. Skaitmeninio fotoaparato „Kodak Easyshare z710“ charakteristikos	49
3.1 lentelė. Ofsetinio popieriaus charakteristikos	51
3.2 lentelė. Kreidinio blizgaus popieriaus charakteristikos	51
3.3 lentelė. Kreidinio matinio popieriaus charakteristikos	51
Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio:	
3.4 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 70 g/m ²	53
3.5 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 80 g/m ²	53
3.6 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 90 g/m ²	53
3.7 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 100 g/m ²	54
3.8 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 140 g/m ²	54
Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio:	
3.9 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 100 g/m ²	56
3.10 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 115 g/m ²	57
3.11 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 130 g/m ²	57
3.12 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 150 g/m ²	57
3.13 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 170 g/m ²	58
3.14 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 200 g/m ²	58
3.15 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 300 g/m ²	58
Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio:	
3.16 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 100 g/m ²	60
3.17 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 115 g/m ²	61
3.18 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 130 g/m ²	61
3.19 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 150 g/m ²	61
3.20 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 170 g/m ²	62
3.21 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 200 g/m ²	62
3.22 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 300 g/m ²	62
Popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo pjaunamos popieriaus šūsnies prispaudimo jėgos:	

3.23 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 80 g/m ²	65
3.24 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 150 g/m ²	66
3.25 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 150 g/m ²	67

IVADAS

Šiuolaikinėje poligrafijos pramonėje kiekvienas įrenginys turi tam tikrą reikšmę poligrafinės produkcijos apdirbimo procese. Sparčiai augant poligrafinės produkcijos apimtims, taip pat sparčiai turi gerėti ir jos kokybė. O nepriekaištingą kokybę gali užtikrinti modernūs įrenginiai bei kvalifikuoti darbuotojai.

Apžvelgus bet kokio poligrafinio produkto pagaminimo kelią, galima išskirti tokias tris gaminimo stadijas: ikispausdiminiai, spausdinimas, pospausdiminiai procesai. Iš paminėtų trijų procesų, dviejuose iš jų yra naudojamos vieno peilio pjaustymo mašinos. Su šiomis mašinomis prieš spaudą apipjaunamas popierius, o atspausdinta produkcija supjaustoma į reikalingą formatą.

Literatūroje dar ne visais atvejais yra ištirtas pjaustymo tikslumas. Nuo jo priklauso ir einantys po pjovimo poligrafiniai procesai, ir jau pagamintos produkcijos patikimumas, naudojimo patogumas bei išvaizda. Dirbantis prie pjaustymo mašinos operatorius turi žinoti, kokiam popieriui reikia naudoti vienokį arba kitokį prispaudimo slėgį (kartais slėgio skirtumas svyruoja nuo 10 000 N iki 30 000 N), kaip parinkti tinkamiausią popieriaus šūsnes aukštį, kaip suplanuoti visus popieriaus atpjovimo etapus ir kt. Todėl popieriaus pjaustymo tikslumo tyrimas yra aktuali problema. Ši problema nagrinėjama pateiktame darbe.

Darbo tikslas – eksperimentiniu būdu ištirti vieno peilio popieriaus pjaustymo mašinos supjaustyto popieriaus tikslumo priklausomybę nuo įvairių faktorių, išsiaiškinti atsirandančių paklaidų priežastis ir pasiūlyti būdus pjaustymo tikslumui bei stabilumui padidinti.

Remiantis literatūros duomenimis tyrimui pasirinkti šie popieriaus atpjovimo tikslumo faktoriai priklausomai nuo:

- Pjaustomo popieriaus rūšies.
- Popieriaus gramatūros.
- Pjaunamos šūsnes aukščio.
- Prispaudimo jėgos pjovimo metu.

Eksperimentams atlikti pasirinkta tipiška firmos „Heidelberg“ vieno peilio popieriaus pjaustymo mašina „Polar 92“.

Paminėtoji tematika buvo pasirinkta dėl to, kad kasdien spaustuvėse yra susiduriama su skirtingų popieriaus rūšių atpjovimo problemomis. Platų popieriaus asortimentą lemia klientų noras išsiskirti iš savo konkurentų bei gauti nepriekaištingą gaminį. Tai įmanoma pasiekti laikantis visų technologinių reikalavimų.

Gauti tyrimo rezultatai buvo panaudoti spaustuvėje bei iš dalies pagerino pjovimo tikslumą bei palengvino darbą operatoriams, dirbantiems prie vieno peilio pjovimo mašinų.

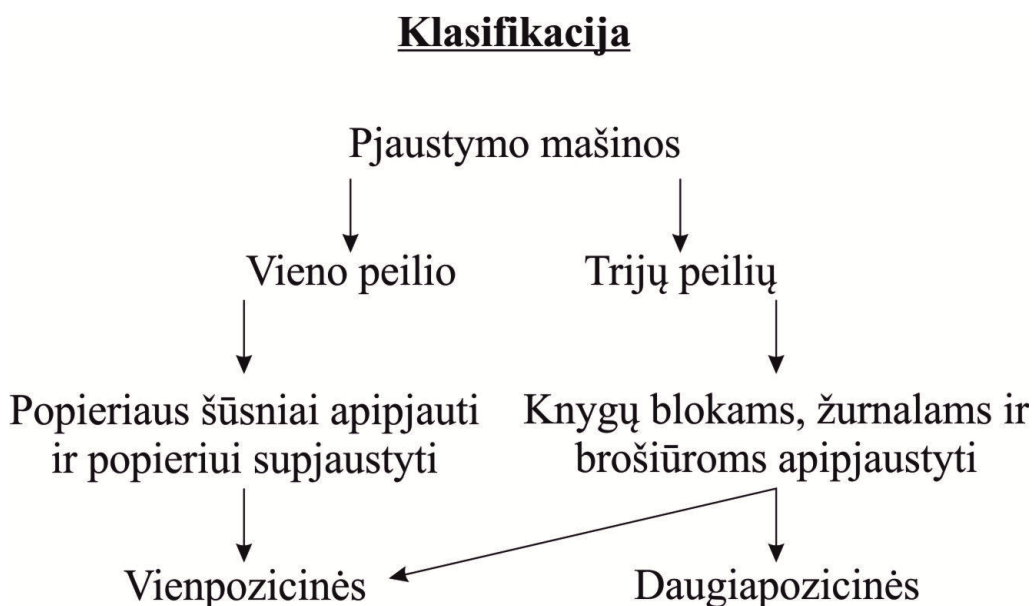
1.LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Popieriaus pjaustymo mašinos ir jų klasifikacija

Popieriaus pjaustymo mašinos ikispausdiminiuose ir brošiūravimo-įrišimo procesuose naudojamos lapams supjaustyti, popieriaus šūsniams, knygų blokams, brošiūroms ir žurnalams apipjauti iki reikalingo formato. Šios mašinos klasifikuojamos pagal pjaustomos produkcijos formatus, peilių skaičių bei paskirtį.

Vieno peilio pjovimo mašinos naudojamos popieriaus šūsniams apipjauti ir supjaustyti. Trijų peilių mašinos yra skirtos dažniausiai knygų blokams, žurnalams bei kitai gatavai produkcijai apipjauti iš trijų pusių.

Paprasčiausia klasifikacijos schema pateikta 1.1 pav.



1.1 pav. Popieriaus pjaustymo mašinų klasifikacija pagal peilių skaičių ir paskirtį

1.2. Peilio pavaros mechanizmai vieno peilio pjaustymo mašinose

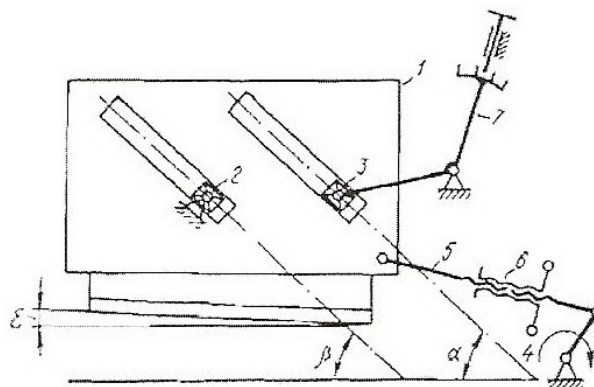
Popieriaus pjaustymo mašinose judesys peiliams suteikiamas kartu su peilių laikikliais. Peilio judesys yra „kardinis“, todėl visa pavara turi garantuoti tokį judesį.

Kai popieriaus pjaustomas bemarkaniniu principu, tada peilio judesys yra kitokio pobūdžio: peilio ašmenys sudaro tam tikrą kampą su popieriaus šūsniams ir šis kampas nesikeičia.

Todėl atliekančio kardinį judesį peilio pavaros mechanizmas yra sudėtingesnis, negu pjaunant be marzano. Visose pjaustymo mašinose peilio pavara yra daugiagrandis mechanizmas, kurio varančioji grandis yra nuo variklio gaunantys judesį skriejikas arba kumštėlis.

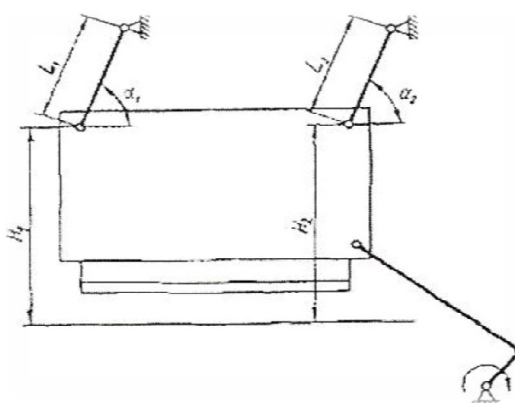
Vieno peilio pjaustymo mašinose dažnai taikomas dviejų kulisių mechanizmas (1.2 pav.). Toks mechanizmas yra taikomas ir mašinoje „Polar 92“, su kuria buvo atliekami bandymai. Peilio

laikiklis 1 remiasi į du kulisinius akmenis 2 ir 3. Peilio laikiklyje yra dvi išpjovos, kuriose yra akmenys 2 ir 3, o pats peilio laikiklis judesį gauna nuo skriejiko 4 per traukę 5. Kardinis judesys gaunamas dėl to, kad kampai α ir β nevienodi, $\beta > \alpha$. Šie kampai parenkami taip, kad viršutinėje padėtyje peilis sudaro kampą ε su popieriaus šūsniui, o apatinėje padėtyje peilio ašmenys yra horizontalioje padėtyje. Reguliavimo sraigtu 6 reguliuojamas peilio įsmigimo į marzaną gylis.



1.2 pav. Dviejų kulisių peilio pavaros mechanizmas

Kitas būdas, suteikiantis peiliui tokį patį judesį, yra paprastesnis, reikalaujantis mažiau priežiūros darbų (1.3 pav.). Peilio laikiklis šio atveju pritvirtinamas prie dviejų svertų. Slydimo trintis yra pakeičiama į sukimosi, todėl sumažėja nuostoliai.



1.3 pav. Dviejų svertų peilio pavaros mechanizmas

Šiuo atveju kardinis peilio judesys gaunamas, kai:

$$H_1 \neq H_2, \text{ tada ir } \alpha_1 \neq \alpha_2;$$

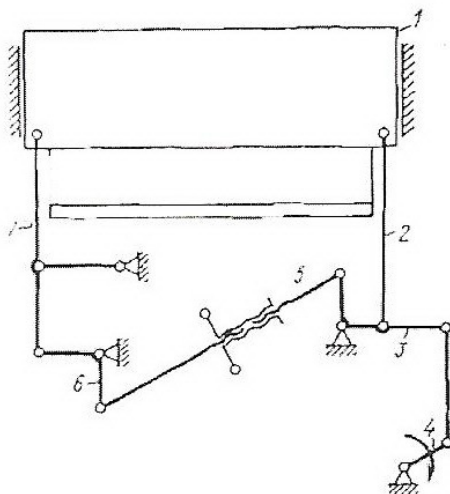
$$L_1 \neq L_2.$$

Reguliuojant vieno iš šarnyrų padėtį pasiekama, kad pjovimo pabaigoje peilio ašmenys būtų lygiagretūs stalui. Taip pat reguliuojamas ir peilio įsmigimo į marzaną gylis.

Peilio įsmigimo į marzaną gylis taip pat reguliuojamas ir peilio laikiklyje esančiomis išpjovomis.

Parodytose schemose pjovimo jėga yra suteikiama nuo slankiklio per peilio laikiklio vieną pusę. Tačiau pjaustant didelio formato popieriaus lapus, dėl tokio nesimetriško šios jėgos pridėjimo

labai apkraunamos mašinos detalės bei peilio laikiklio kreipiamosios. Todėl daug geresnės darbo sąlygos yra tada, kai pjovimo mašina turi dubliuotas pavaras, užtikrinančias simetrinį peilio laikiklio ir peilio apkrovimą (1.4 pav.).



1.4 pav. Dubliuotas peilio pavaros mechanizmas

Sukantis skriejui 4, svertais 2 ir 7 peilio laikiklis 1 atlieka darbinį judesį. Šiuo atveju pjovimo jėga pasiskirsto į dvi iš abiejų laikiklio galų. Sraigtinė pora 5 reguliuojama peilio ašmenų padėtis popieriaus šūsnes atžvilgiu.

1.3.Vieno peilio pjovimo mašinų prispaudimo mechanizmai

Pjovimo metu popieriaus šūsnis turi būti laikoma nejudamoje padėtyje. Prispaudimo metu popieriaus šūsnis yra prispaudžiamas prie stalo ir tokioje padėtyje išlaikoma viso pjovimo metu ir iki tol, kol peiliai grįžta į pradinę padėtį.

Prispaudimo mechanizmai gali būti standūs ir tamprūs. Standžiuose mechanizmuose prispaudiklis pjovimo metu išlieka savo padėtyje ir nesileidžia žemyn, kai popierius dar papildomai suspaudžiamas pjaunančiu peiliu. Tampriuosiuose mechanizmuose prispaudiklis reaguoja į bet kokias popieriaus šūsnes deformacijas peiliui, ir tokiu būdu išlaiko pastovų spaudimą viso proceso metu.

Todėl tamprieji mechanizmai yra tobulesni. Vienintelis standžių mechanizmų privalumas yra konstrukcijos paprastumas, ir jie naudojami tik tais atvejais, kai reikalavimai pjaustymo tikslumui nėra dideli.

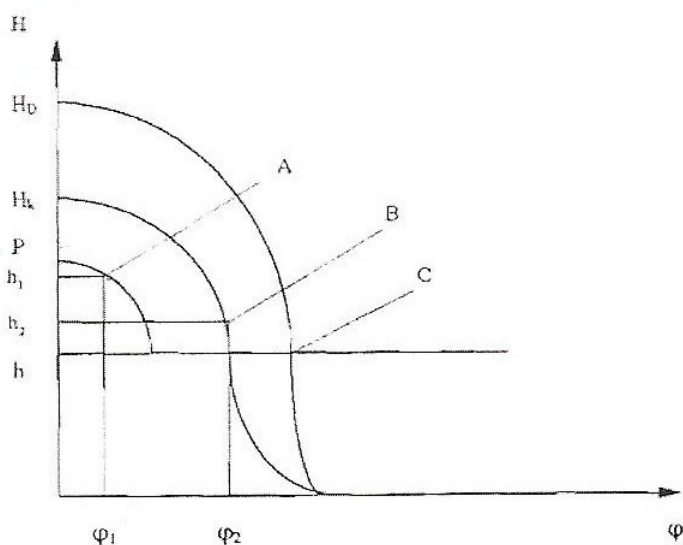
Tamprieji prispaudimo mechanizmai yra skirstomi į spyruoklinius ir hidraulinius. Pagrindinis reikalavimas šiems mechanizms - maksimali prispaudimo jėga turi būti sukuriamas prieš peiliui įsmingant į šūsnį ir pjovimo proceso metu ji turi išlikti pastovi.

Perspektyviausios yra hidraulinės prispaudimo sistemos. Jos leidžia reguliuoti prispaudimo jėgą plačiose ribose, priklausomai nuo suspaudžiamo popieriaus savybių. Spyruoklinių sistemų

prispaudimo jėga priklauso nuo spyruoklių standumo koeficiento, kuris tiesinėje dalyje nekinta. Dėl to sunku sureguliuoti norimą prispaudimo slėgį. Priešlaikinis spyruoklių įveržimas reikalauja daug laiko ir darbo sąnaudų, vienintelis tokių mechanizmų privalumas yra konstrukcijos paprastumas, lyginant su hidrauliniiais. Todėl spyruoklinės sistemos taikomos nedidelio formato ir mažo tikslumo reikalaujantiems leidiniams pjaustyti.

Prispaudiklio mechanizmas turi lėtai nuleisti prispaudiklį ant popieriaus šūsies ir ją suspausti, nesujudindamas horizontaliąją kryptimi lapų ar knygų bei žurnalų blokų. Prasčiausiomis pjovimo sąlygomis paprastai yra viršutiniai šūsies sluoksniai - jie guli ant minkšto pagrindo, labiausiai įlinksta po peiliu ir peiliu gali būti ištraukiami iš po prispaudiklio. Tačiau jei prispaudiklio išvystomas slėgis yra didesnis nei 40 kN/m^2 , po juo esanti popieriaus šūsies per daug sukietėja ir reikalauja didesnės pjovimo jėgos. Todėl prispaudymo jėgos dydžio parinkimas priklauso nuo keleto faktorių - popieriaus šūsies aukščio, pjovimo jėgos dydžio, popieriaus tipo, pradinio knygų blokų supresavimo. Visais atvejais suspaudimo jėga turi būti minimali, garantuojanti, kad lapai nebus ištraukiami iš po prispaudiklio.

Prispaudymo ir pjovimo procesą paprastai galima išaiškinti pagal diagramą (1.5 pav.):



1.5 pav. Prispaudymo ir pjovimo proceso diagrama

Vertikalioje ašyje atidėta prispaudiklio ir peilio eiga, horizontalioje - pagrindinio veleno posūkio kampas. Prispaudiklis P, besileisdamas žemyn, susitinka su šūsniimi taške A ir deformuoja ją nuo h_1 iki h_2 . Jam iš paskos leidžiasi peilio kairė pusė H_K ir dešinė pusė H_D . H_K ir H_D yra skirtingame aukštyje, nes peilis šiek tiek pasviręs. Taške B peilis pradeda smigti į šūsį kairiuoju kraštu, kartu dar labiau suspausdamas šūsį, ir taške C įsminga visu savo ilgiu. Šūsies aukštis tuo metu sumažėja iki h .

Didelę reikšmę turi laikas, per kurį įvyksta šūsies suspaudimas iki peiliui įsmingant į ją. Šis laikas gali būti apskaičiuotas pagal formulę:

$$\Delta t = \frac{\Delta \varphi}{6n} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{6n}, \quad (1.1)$$

čia: n - pagrindinio veleno sūkliai, 1/min.

$\Delta \varphi$ - pagrindinio veleno posūkio kampas radianais nuo prispaudiklio prisilietimo prie popieriaus pradžios ir peilio įsmigimo pradžios.

Santykinė pjovimo jėga yra matuojama niutonais, tenkančiais pjūvio ilgio vienetui. Todėl ir santykinę prispaudimo jėgą patogiau matuoti tais pačiais vienetais, kad galima būtų palyginti jų reikšmes.

Pažymėjus:

q - santykinę prispaudimo jėgą N/mm, o p - santykinę pjovimo jėgą taip pat N/mm, turi būti laikomasi tokių proporcijų:

$q = 1,3 \dots 1,8 p$ (standžioms sistemoms),

$q = 0,8 \dots 1,3 p$ (tamprioms sistemoms).

Santykinę prispaudimo jėgą q matuojama N/mm tais atvejais, kai prispaudimo sijos plotis yra ribose 80-150 mm. Kitais atvejais gali būti gautos didelės paklaidos, nes iš esmės q yra slėgis ir turi būti matuojamas N/mm².

Pjovimo jėga P tiesiogiai priklauso nuo šūsies pločio. Kadangi ta pačia popieriaus pjaustymo mašina gali būti pjaustoma skirtingo formato produkcija, tai prispaudimo jėga visada skaičiuojama pagal maksimalią pjovimo jėgą. Tik turi būti numatyta, koku būdu nuo maksimalaus spaudimo būtų galima pereiti į mažesnę priklausomai nuo darbo sąlygų.

1.4. Popieriaus pjaustymo vieno peilio mašinomis problemos apžvalga literatūros

šaltiniuose

Kadangi kaip minėjau, popieriaus pjovimo tikslumas yra labai aktualus kiekvienai spaustuvei bei pjaustymo mašinų gamintojams, šiam klausimui skiriama pakankamai daug dėmesio. Tad daug autorių yra parašę skirtingus veikalus, nagrinėjančius pjovimo problemas.

B. Bušunovo darbas [2] pasirodė 1938 metais. Knygoje buvo nagrinėjamos popieriaus šūsies pjovimo sąlygos. Atsirandančioms pjaustant popierių jėgoms nustatyti, buvo pasirinktas netiesioginis metodas.

Šių jėgų nustatymas vyko tokiu būdu.

Mašinos veleno sukimo momentą matavo variklio sukamu ir duomenis įrašančiu dinamometru. Kad būtų gauta tiksli darbo, reikalingo pjovimui, trukmė, buvo atlikti du tyrimai: pirmajame popieriaus krūva buvo pjaunama, antrajame pjaunama nebuvo, tačiau ta pati krūva buvo slegiama.

Dėl skirtingo darbo pobūdžio pirmame ir antrame tyrime buvo nustatoma pjovimui reikalinga darbo trukmė.

Pjovimo jėgai nustatyti buvo naudojama tokia formulė:

$$P_{vid} = \frac{A_p}{S_b}; \quad (1.2)$$

čia P_{vid} - vidutinė pjovimo jėga, veikianti krūvą jos judėjimo kryptimi;

S_b - peilio eiga pagal plokštumą, kuri yra lygiagreči peilio laikikliui, padarytam 42° laipsnių kampu ir horizontaliai;

A_p - pjovimo jėgos darbas.

Tyrimo metu buvo gauti pjovimo jėgos duomenys 3 rūšių popieriui, taip pat pjovimo jėgų priklausomybė nuo peilio užgalandinimo kampo, pjovimo greičio ir šūsies aukščio.

Gautų duomenų pagrindu buvo padaryta išvada, kad esant popieriaus sudėtyje medienai, pjovimo jėga didėja.

Darbe gautas jėgų kitimo pobūdis. Vykstant pjovimo procesui pjovimo pradžioje jėga gerokai išauga, toliau lėtai didėja, įgauna maksimumą, kai peilis įsipjauna į marzaną, ir po to staigiai mažėja.

V. Cacnino darbe [10] duotas santykis tarp peilio ir popieriaus šūsies spaudimo vertikaliosios ir horizontaliosios dedamųjų ir padarytos tokios išvados:

1. pasipriešinimas pjovimui auga didėjant peilio užgalandinimo kampui;
2. skaičiuojant pasipriešinimo jėgas, reikia orientuotis ne į vidutines, o į maksimalias jėgas;
3. šūsies aukštis neturi žymios įtakos pjovimo jėgai, todėl verta pjauti aukštas krūvas;
4. peiliui pasiekus marzaną, jėgos gali smarkiai padidėti.

B. Mordovino darbe [8] apie pjovimo sąlygas ir popieriaus šūsies suslėgimą pjaustymo mašinose pateikia išsamiausius duomenis apie pjaustymo mašinas, apie fizikinius reiškinius, vykstančius pjovimo metu, bei duomenis, būtinus apskaičiuojant, projektuojant ir eksploatuojant popieriaus pjaustymo mašinas.

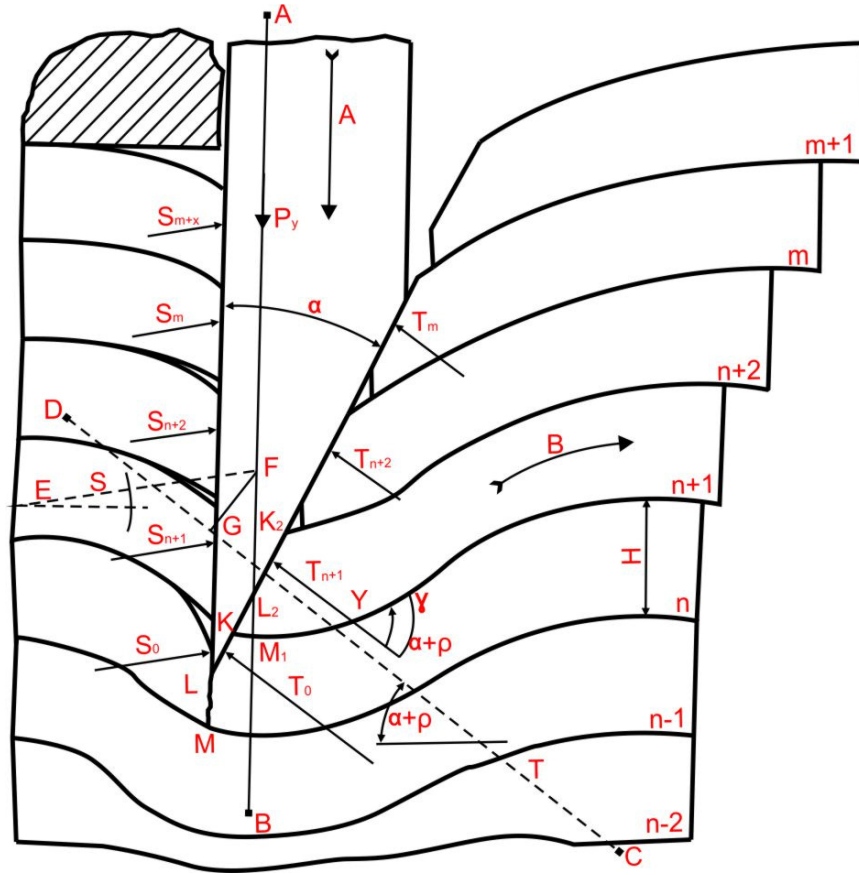
Jo teoriniuose tyrinėjimuose apibrėžiamas atsirandančių pjovimo metu jėgų pobūdis ir sąveika.

Pabrėžiama, kad tema nepakankamai apžvelgta literatūroje, o tai sukelia šiurkščių klaidų įrenginių apskaičiavimuose ir dėl to pasirenkami neteisingi jų eksploatavimo režimai.

Aptariamas reiškinių, vykstančių pjovimo bei statmenoje jai plokštumoje, kompleksas.

A. *Jėgų analizė.* Bendras reiškinių pobūdis ir jėgų, veikiančių pjovimo metu plokštumoje, statmenoje pjovimo linijai, schema parodyti 1.6 pav. Pagrindinių jėgų, veikiančių statmenoje pjovimui linijai plokštumoje, schema pateikta 1.7 pav. Čia iš pavaizduoto atsižvelgiant į trinties

kampus jėgų trikampio galima nustatyti: T - visų veikiančių peilį jėgų atsiveriančios jėgos projekciją; S - visų šūsnies reakcijos jėgų projekciją.

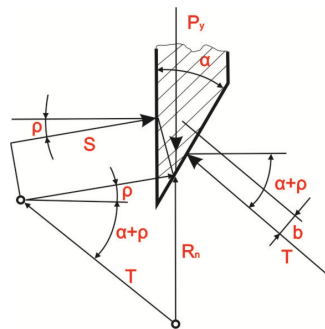


1.6 pav. Bendras reiškinių ir jėgų, veikiančių peilį šūsnies pjovimo metu, pobūdis

$$P_y = R_n \quad (1.3)$$

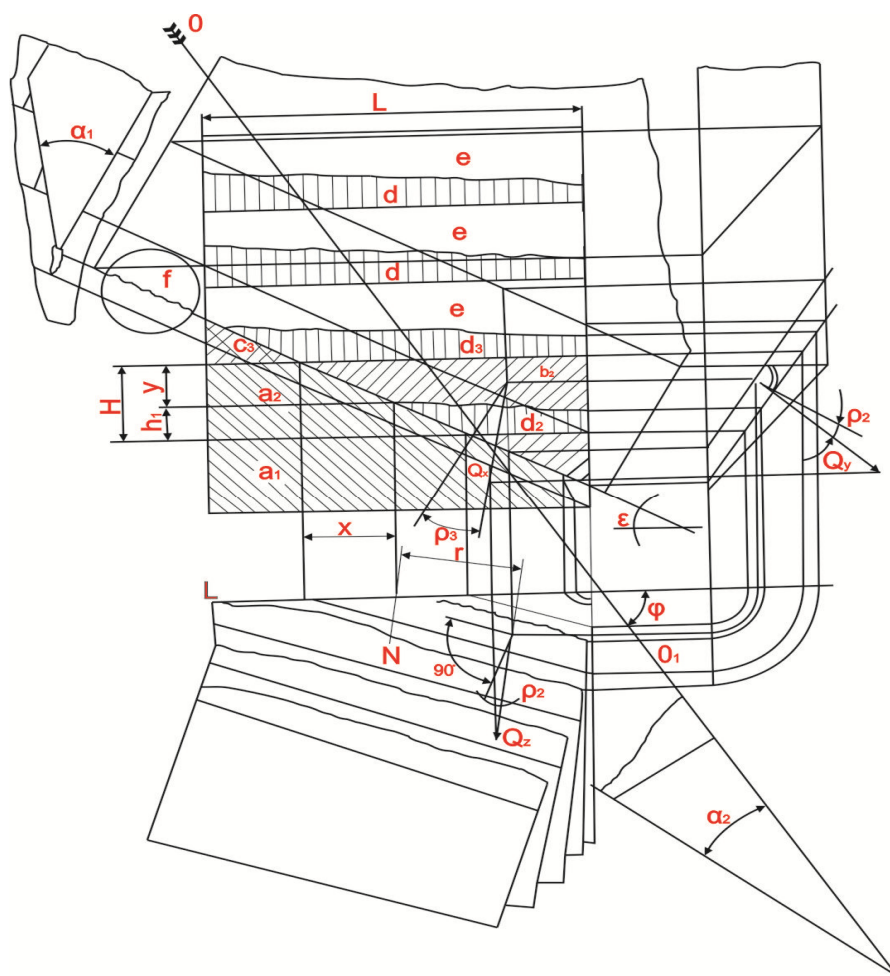
$$T = \frac{R_n}{\sin(\alpha+\rho)+\operatorname{tg}\rho*\cos(\alpha+\rho)} \quad (1.4)$$

$$S = \frac{R_n*\cos(\alpha+\rho)}{\cos\rho*\sin(\alpha+\rho)+\sin\rho*\cos(\alpha+\rho)} \quad (1.5)$$



1.7 pav. Pagrindinių peilį veikiančių jėgų schema: S , T - peilį veikiančios pjovimo jėgos, P_y - peilio pastūmos jėga

B. Reiškinių, vykstančių pjovimo plokštumoje, pobūdis. Peiliui judant šiuolaikinėse mašinose taikomu kardo principu, reiškinių pobūdis (1.8 pav.) palyginti su kitokiais peilio judėjimo būdais gerokai sudėtingėja.

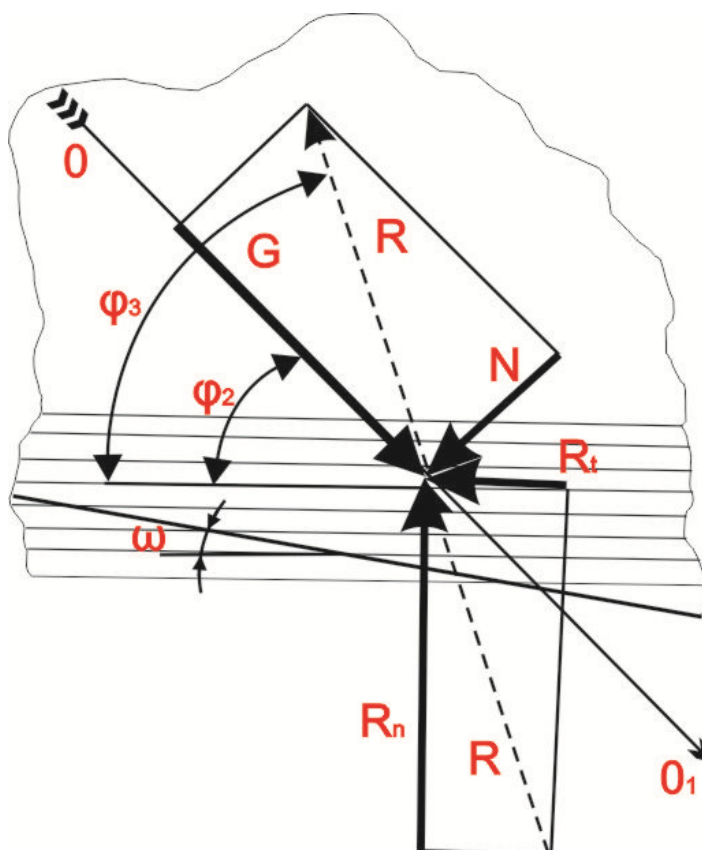


1.8 pav. Reiškinių pjovimo plokštumoje pobūdis

1.8 pav. Pateiktų tam tikrų reikšmių paaiškinimai: a - nenupjauta šūsnies dalis; b - popieriaus suglamžymo ruožai nuo peilio briaunos; c - šūsnies įtrūkimas nuo peilio jėgos; d - šūsnies įtrūkimas, kurį peilis jau praėjo; e - suglamžymo ruožai po peilio nupjovimo; f - peilio briaunos nelygumai nuo didelių pjovimo jėgų.

Čia pavaizduotas peilis, kuris juda vertikalčiai parodytoje plokštumoje 00_1 , turintis užgalandinimo kampą α_1 . Peilis tiriamu momentu turi staigų judėjimo kampą φ horizontalės link ir nuožulnumo kampą ε lapų paviršiaus link.

Pagrindinių jėgų, veikiančių peilį pjovimo plokštumoje, schema pavaizduota 1.9 pav.



1.9 pav. Pagrindinių jėgų, veikiančių peilį vertikaliai pavaizduotoje pjovimo plokštumoje, schema

Čia R ir N - pjovimo jėgos, veikiančios peilio judėjimo kryptimi (00_1) ir pagal normalę judėjimo kryptimi.

R_1 - pjovimo plokštumą veikiančių visų jėgų projekcija, krūvos reakcija į peilį, susidedanti iš jėgų R_n ir R_t - normalios ir tangentinės dedamųjų. Be to, jėga R_t susidaro dėl peilio trinties į krūvą jėgų poveikio.

Pagal schemą nustatomi šie dydžiai:

$$R = \frac{R_n}{\sin \gamma} \quad (1.6)$$

$$P = R * \cos (\gamma - \varphi) \quad (1.7)$$

$$N = R * \sin (\gamma - \varphi) \quad (1.8)$$

$$\gamma = \arctg \frac{R_t}{R_n} \quad (1.9)$$

$$R_n = \frac{P * \sin \gamma}{\cos (\gamma - \varphi)} \quad (1.10)$$

$$R_t = R_n * ctg\gamma \quad (1.11)$$

Kiekvienas apskaičiuojamas jėgų dydis nustatomas kaip jėgų, reikalingų popieriui perskirti ir atpjautai daliai nustumti, suma.

Reikalinga atskirti apatinį lapą jėga, nustatoma iš lygties:

$$P_0 = f(H; Z; \sigma_k; \sigma_z; f_0; \alpha; \rho; \gamma); \quad (1.12)$$

čia: H - šūsnes aukštis, mm; Z - pjovimo ilgis, mm; σ_k - įtempimas viršutinėje lapo dalyje nuo peilio briaunos, N/mm^2 ; σ_z - plyšimo įtempimas apatinėje lapo dalyje, N/mm^2 ; f_0 - peilio trinties į popierių koeficientas; α - peilio užgalandinimo kampas; ρ - trinties kampas; γ - kampas tarp horizontalės ir lapo paviršiaus.

Reikalinga nustumti atpjautą dalį jėga, nustatoma pagal lygtį:

$$P_s = f_1(G; \gamma; \alpha; \rho; f_2; f_3) \quad (1.13)$$

Čia: G - atpjautos šūsnes dalies masė, kg; f_2 ir f_3 - popieriaus trinties koeficientas skirtingose šūsnes dalyse.

V. Ginzburgas [5] teigia:

1. Projektuojant popieriaus pjaustymo įrenginius, būtina atsižvelgti į jėgų pasikeitimo pjovimo metu pobūdį, todėl kad krūvos pjovimo pabaigoje jėgos Pz'' iš formulės (1.15) dažniausiai turi didesnes reikšmes negu pjovimo pradžioje. Taip pat būtina atsižvelgti į momentines didžiausias jėgas, atsirandančias pjaunant apatinius lapus, kai peilis įsipjauna į marzaną.
2. Pjaustymo jėgos kinta proporcingai pjaustymo ilgiui.
3. Atsirandančios atpjovimo pradžioje jėgos nepriklauso nuo šūsnes storio.
4. Atpjaunamos juostos plotis didelės įtakos jėgų dydžiui neturi.
5. Didėjant peilio užgalandinimo kampui, pjovimo jėgos didėja.
6. Mažėjant peilio judesio kampui („Polar 92“ mašinos techninėse charakteristikose pažymėta, jog peilio judesio kampas lygus $1,25^\circ$ vertikali ir suminė pjovimo jėgos mažėja.
7. Didėjant peilio eigų skaičiui t.y. padidėjus įdirbiui, pjovimo jėga mažėja. Pjovimo jėga, esant skirtingoms medžiagoms, priklauso nuo jėgos, reikalingos perpjovimui, nuo medžiagos patvarumo,

lygumo ir storio. Horizontaliųjų ir vertikalųjų jėgų santykis pjovimo pabaigoje būna didesnis nei pradžioje.

8. Lapų šūsnies pjovimas skersai pluošto reikalauja didesnių vertikalųjų jėgų nei pjaunant išilgai. Horizontalios jėgos yra panašios vertės tiek pjaunant išilgai, tiek skersai.

9. Jei didėja lapų storis, jėgos paprastai didėja. Tai galioja tada, kai lieka tas pats šūsnies aukštis.

10. Didėjant popieriaus drėgnumui, pjovimo jėgos mažėja.

11. Apskaičiuojant pjovimo jėgas, gaunamos tokios formulės:

Vertikalioji jėga pjovimo pradžioje:

$$P_{z'} = 0.423 \frac{Z * \alpha^{0.32} * \varphi^{0.33} * q^{0.1}}{H^{0.08} * n^{0.05} * \varepsilon^{0.04} * B^{0.014}} K_{oz'} * K_{mz'} * K_{cz'} \quad (1.14)$$

Vertikalioji jėga pjovimo pabaigoje:

$$P_{z''} = 0.100 \frac{Z * \alpha^{0.24} * \varphi^{0.75}}{n^{0.07} * B^{0.08}} K_{oz''} * K_{mz''} * K_{cz''} \quad (1.15)$$

Horizontalioji jėga pjovimo pradžioje:

$$P_{x'} = 0.100 * Z * \alpha^{0.59} * K_{yx'} * K_{nx'} * K_{ox'} * K_{mx'} * K_{cx'} \quad (1.16)$$

Horizontalioji jėga pjovimo pabaigoje:

$$P_{x''} = 0.314 * Z * \alpha^{0.36} * \varepsilon^{0.06} * K_{\varphi x''} * K_{nx''} * K_{ox''} * K_{mx''} * K_{cx''} \quad (1.17)$$

Čia Z - pjovimo ilgis, mm;

α - peilio užgalandinimo kampas laipsniais;

φ - peilio judėjimo kampas laipsniais;

q - krūvos santykinė presavimo jėga, kg/m^2 ;

H - krūvos aukštis, mm;

n - peilio eigų skaičius per minutę;

ε - peilio įsipjovimo kampas laipsniais;

B - santykinis popieriaus drėgnumas, %;

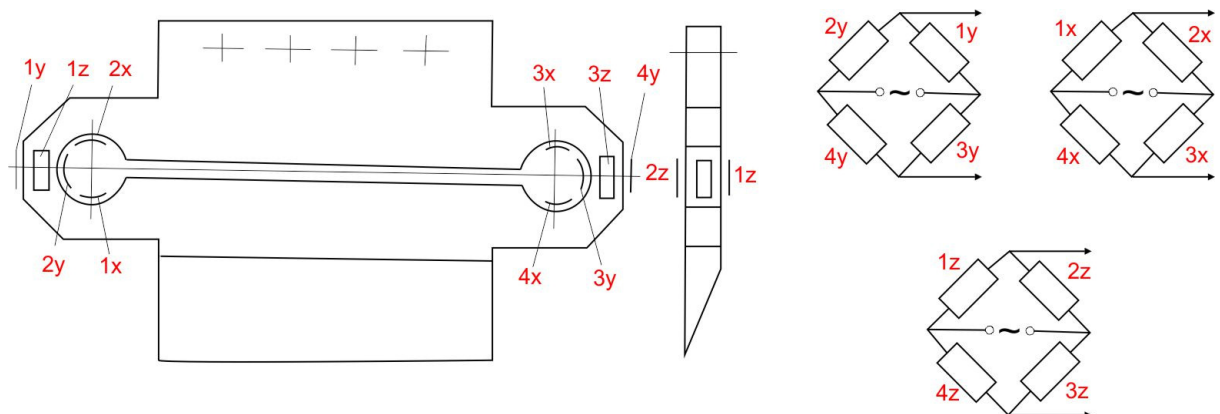
K_o - peilio užgalandimo aštrumo koeficientas. Jo reikšmė svyruoja nuo 0,556 iki 0,054. Naujai pagალąsto peilio ašmenų užapvalinimo spindulys $r = 4..5 \mu\text{m}$, pagrindinio darbo laikotarpyje $r = 15..20 \mu\text{m}$;

K_n - peilio judėsio greičio koeficientas, jo reikšmės priklauso nuo pagrindinio veleno sūkių ir kinta nuo 0,562 iki 1,453. Kai $n = 30 \text{ aps./min.}$, $K_n = 1,0$;

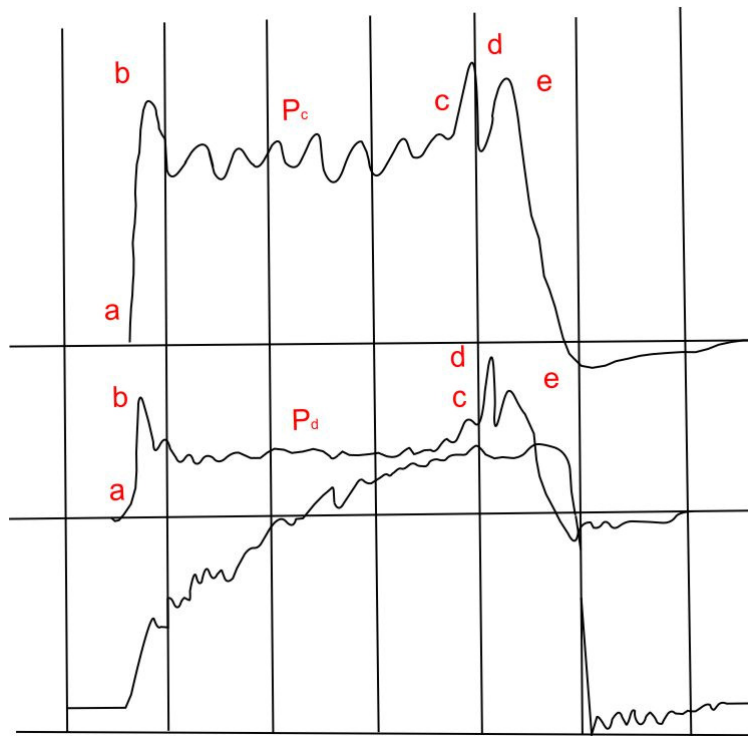
K_m - koeficientas, įvertinantis pjaunamo popieriaus fizikines ir mechanines savybes. Jo reikšmės svyruoja nuo 0,29 iki 1,68;

K_c - koeficientas, įvertinantis peilio ašmenų sutepimą. Jei tepimo nėra, $K_c = 1$, o šiaip jo reikšmė gali mažėti iki 0,79.

I. Georgijevsij, A. Poliudov [4] pateikia paprastai apskaičiuojamas trijų pjovimo įrenginio mazgų jėgų pasikeitimus, kurie anksčiau buvo taikomi Ginzburgo darbuose. Pjaustymo peilyje buvo sumontuotas dinamometras. Jame yra tamprūs žiedai su priklijuotais tenzorezistoriais. Tenzorezistorių susijungimas į elektrinius tiltus pavaizduotas 1.10 pav. Tenzorezistoriai $1_y, 2_y, 3_y, 4_y$ yra jautrūs tik pjovimo jėgos vertikaliajai dedamajai, $1_x, 2_x, 3_x, 4_x$ - horizontaliajai, $1_z, 2_z, 3_z, 4_z$ - priekinei. 1.11 pav. parodyti oscilografiniai jėgų dedamųjų įrašai pjaunant šūsnių mašina BR-110. Panagrinėjus jėgų pokyčius pjovimo procese, galima išskirti būdingas sritis: a-b atitinka popieriaus deformacijos ir peilio įsipjovimo į krūvą periodą; b-c - krūvos perpjovimo procesas; c-d apatinius krūvos lapų pjovimo pabaigos ir peilio įsipjovimo į marzaną procesas; e - peilio išsitraukimas iš marzano. Apskaičiavimų paklaida 1-2 %. Privalumai: konstrukcijos paprastumas, sistemos monolitiškumas, didelis stabilumas.



1.10 pav. Tenzorezistorių prijungimas ir jų sujungimas į elektrinius tiltus



1.11 pav. Jėgų oscilografiniai įrašai, pjaustant popieriaus šūsnį įrenginiu BR-110

Toliau buvo tiriama, kaip padidinti popieriaus pjovimo įrenginių peilių patvarumą ir ilgaamžiškumą, kadangi tai turi didelę įtaką popieriaus ir kitokių medžiagų pjovimo tikslumui.

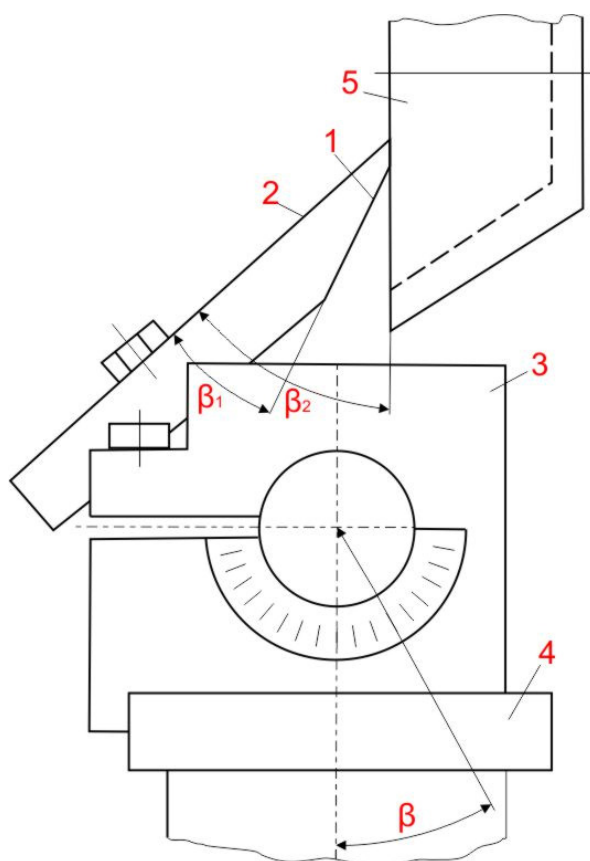
V. Ivaščenko [6] kaip eksperimentinį pavyzdį naudoja St4 plieną. Peilių kokybei padidinti buvo pasirinktas jų difuzinio sustandinimo miltelių mišiniuose naudojami NH_4Cl ir $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Eksperimentinių peilių bandymai, atlikti Lvovo gamykloje „Atlas“, parodė jų patvarumo padidėjimą 4-5 kartus, lyginant su paprastais peiliais. Eksperimentų rezultatai parodė, kad boravimas yra efektyvus būdas padidinti peilių kokybę.

V. Timošenko [9] po daugelio bandymų pasiūlė racionaliausią iš tyrinėtų iki tol peilio plieno apdirbimo būdų ir režimų. Tai metodas nenaudojant elektrolizės, taikant plieno U8 boravimą lydinuose, pridedant B_4C ir pridedant NaCl . Anksčiau skysto elektrolizinio boravimo trūkumas buvo didelė dalis trapios, labai boringos FeB fazės.

A. Kuznecovo, R. Laskovič, I. Levino [7] iniciatyva, norint padidinti peilių patvarumą, Maskvos poligrafijos instituto laboratorijose buvo išnagrinėta eilė šiuolaikinių metodų, didinančių pjovimo instrumento patvarumą: sutvirtinant pjaunančią peilio dalį, užgalandus papildomą nuogulos briauną jo priekiniame paviršiuje; sutvirtinant peilio ašmenis, išlyginant ir priekinę ir užpakalinę jo pjaunančios dalies paviršių ritinėliais, kad būtų gautas sutvirtintas viršutinis peilio sluoksnis; darbinį peilio paviršių elektrocheminiu būdu padengiant chromo ir nikelio sluoksniais; padengiant peilį

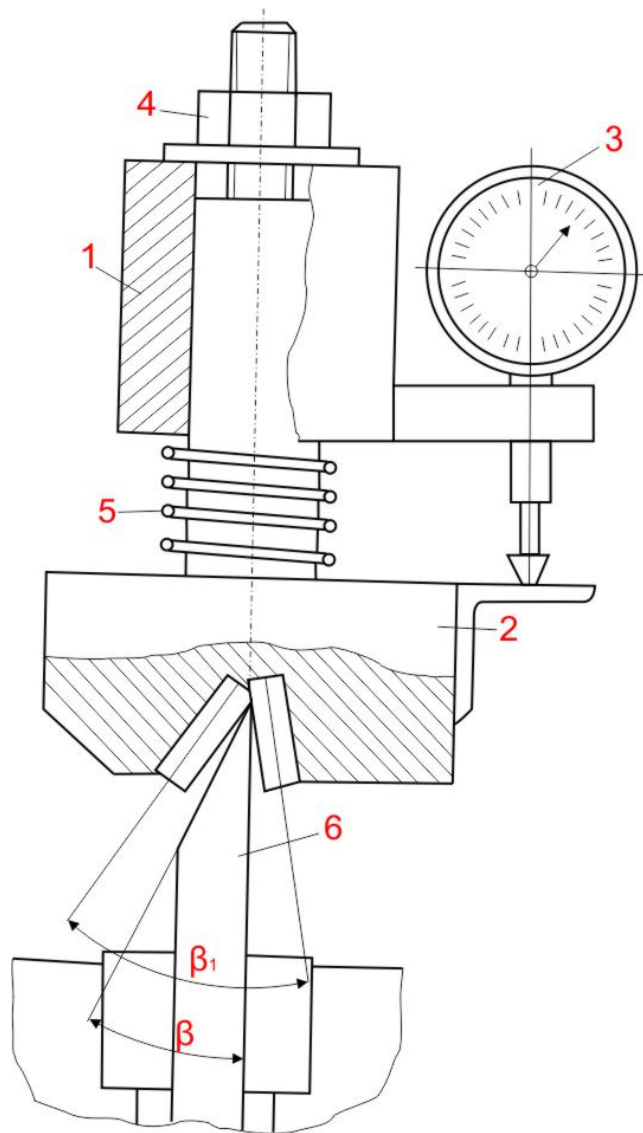
nikelio danga cheminės redukcijos būdu; padengiant kombinuota elektrochemine danga nikelis-deimantas.

Ašmenų paviršius buvo galandamas 1-3 mm pločio priekiniame peilio paviršiuje kampu $\beta_2 = 25 \div 35^\circ$, specialiaame įrenginyje plokščiojo šlifavimo staklėmis (1.12 pav.), čia 1 - priekinis peilio paviršius, 2 - užpakalinis peilio paviršius, 3 - įrenginys su kampą matuojančia skale, 4 - staklių stalas, 5 - puodinis abrazyvinis diskas. Kampo smailumas $\beta_1 = 19^\circ$. Peilių su papildoma ašmenų briauna bandymai parodė, kad jų patvarumas padidėja 40-50 %. Tačiau tai reikalauja didesnės jėgos pjaunant.



1.12 pav. Peilio galandimas šlifavimo staklėmis

Serijinių peilių ašmenų sutvirtinimas plastine deformacija įgyvendintas taikant specialiai sukonstruotą lyginantį instrumentą, turinti tris $\varnothing 5$ mm ritinėlius.



1.13 pav. Peilio ašmenų sukietinimas ritinėliais: 1 - korpusas, 2 - lyginantis instrumentas su ritinėliais, 3 - indikatorius, 4 - veržlė, 5 - spyruoklė, 6 - peilis.

Peilių su išlygintomis ašmenimis bandymai parodė, kad jų patvarumas išauga 40-50 %, bet tai padidina darbo sąnaudas ruošiant peilius darbui.

Darbinio peilio paviršiaus padengimas chromu elektrocheminiu būdu buvo atliekamas elektrolite, susidedančiame iš 280 g/l chromo anhidrido ir 2,8 g/l sieros rūgšties; buvo nustatyta, kad, padengti chromo danga peilių ašmenys atbunka.

Elektrocheminis sluoksnio nusodinimas ant paruošto paviršiaus vyko elektrolite, turinčiame 250-300 g/l nikelio sulfato ir 30-35 g/l boro rūgšties. Nustatyta, kad peilio aštrumas sumažėja, bet patvarumas padidėja.

Nikelio danga, kuria padengti darbiniai peilio paviršiai (cheminės redukcijos būdu), sumažino ašmenų aštrumą 1,4 karto, ir peiliai daugiau nebuvo bandomi.

Kombinuotas elektrocheminis dengimas (KED) buvo atliekamas specialioje vonioje su įprastos sudėties nikeliu elektrolitu, pridedant deimanto miltelių, kurių dydis buvo 3-14 μm. Gamybinių peilių bandymai su KED parodė, kad jų patvarumas padidėja 3-4 kartus palyginus su serijiniais peiliais.

1.5. Šūsnių pjovimo proceso vieno peilio pjaustymo mašinose ypatumai ir įvairių faktorių įtaka pjovimo tikslumui

1.5.1. Šūsnių presavimas ir deformavimas

Tikslus pjovimas įmanomas tik tada, kai šūsnis pakankamai stipriai supresuota. Priešingu atveju, veikiant pjovimo jėgų dedamosioms (vertikali, horizontali ir priekinė) lapai šūsnyje pasislinks. Idealiai nustatant maksimalų lapų pjaustymo tikslumą, presavimo jėga turi pasiekti tokį dydį, kad lapų trinties vienas į kitą jėga atsvertų, paslenkančias lapus jėgas. Beje, siekimas atsverti jėgas gali privesti prie didelio presavimo jėgų padidėjimo. Todėl presavimą reikia atlikti naudojant minimalią galimą jėgą, kurios pakanka lapų pjovimo tikslumui užtikrinti.

Galiniai šūsnių lapų kraštai atsiskiria nuo paduodančio įtaiso dėl lapų išsilenkimo juos presuojant, tačiau pasibaigus pjovimo procesui, lapai išsilygina. Kuo stipriai šūsnis supresuota, tuo mažiau ji deformuosis pjaunant. Vadinasi, atpjovimo paklaidos netikslumas priklauso nuo krūvos deformacijos.

Būtina minimali presavimo jėga Q gali būti apytiksliai nustatyta iš jėgų lygybės sąlygos (1.14 pav.): dedamosios W nuo vertikalios pjovimo jėgos P , kuri stengiasi ištraukti lapus iš krūvos, o trinties jėga priešinas lapų ištraukimui. Taikant Eulerio lygtį gauname:

$$W = T \cdot e^{f\alpha} \quad (1.18)$$

kadangi $T = Q \cdot f$, todėl

$$W = Q \cdot f \cdot e^{f\alpha} \quad (1.19)$$

$$\text{Iš čia: } Q = \frac{W}{f \cdot e^{f\alpha}} \quad (1.20)$$

Čia:

W - pjovimo jėgos dedamoji, kurios dėka lapai tempiami iš pjaunamos šūsnių, N ;

T - lapų trinties jėga;

f - trinties tarp popieriaus lapų koeficientas;

e - natūralių logaritmų pagrindas;

α - išsilenkusios šūsnies dalies kampas;

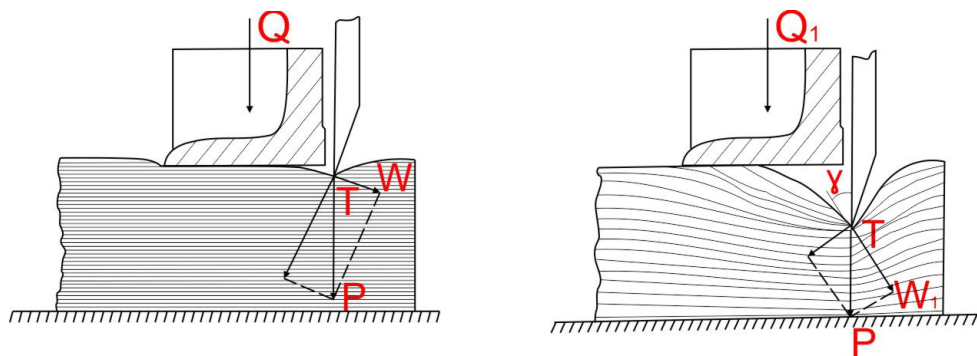
ρ - lyginamasis slėgis po spaudikliu;

F - prispaustos šūsnies dalies plotas (po prispaudikliu);

P - vertikalioji pjovimo jėgos dedamoji;

γ - kampas, kurį sudaro peilio judėjimo plokštuma ir išlenktas lapas.

Turi būti taip, kad lapus tempianti jėga būtų mažesnė už lapų poslinkiui reikalingą jėgos dydį.



1.14 pav. Lapų ištempimo jėga

Galima pastebėti, kad didėjant šūsnies deformacijai po peiliu, jėgos dedamoji W (nuo kurios priklauso lapų ištraukimas) didėja. Vadinasi, tikslesniam pjovimui reikia didesnės presavimo jėgos Q.

Santykinis slėgis p susijęs su šūsnies deformacija tokia priklausomybe:

$$D = a \cdot p^n; \quad (1.21)$$

čia D - santykinė šūsnies suspaudimo deformacija, %;

a ir n - koeficientai kiekvienai popieriaus rūšiai.

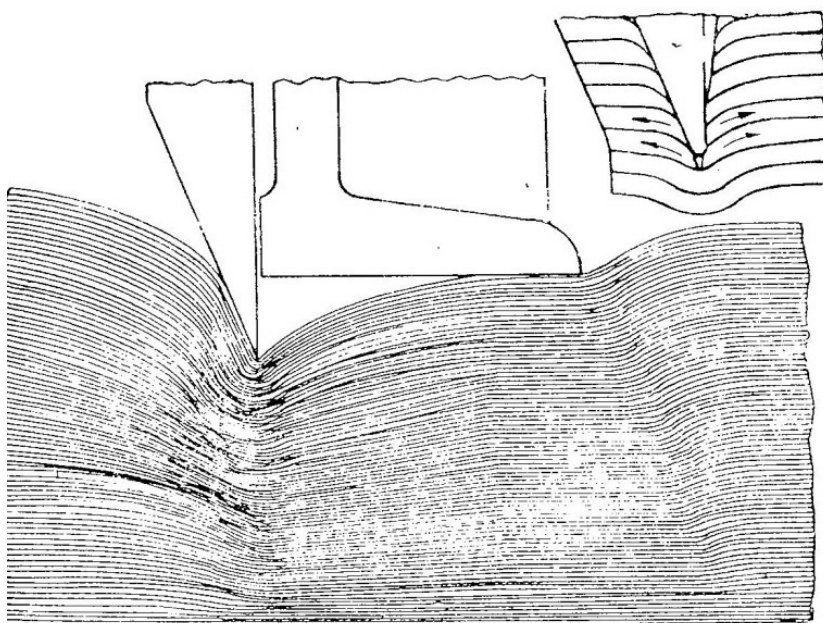
1.5.2. Šūsnies deformacija nuo peilio

Prieš įsipjaunant peiliui, šūsnis nuo jo spaudimo papildomai deformuojasi dar ir nuo peilio (1.14 pav. ir 1.15 pav.). Ši deformacija tuo didesnė, kuo mažesnė buvo pirminė šūsnies deformacija po prispaudikliu. Šūsnies deformacija išauga taip pat dėl to, kad didėja jos aukštis bei dėl peilio

atbukimo. Reiškiniai, atsirandantis esant skirtingai presavimo jėgai ir skirtingam peilio aštrumui, parodyti 1.1 lentelėje.

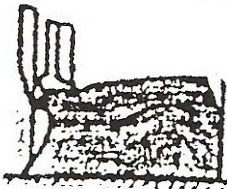
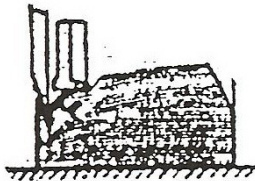
Viena iš pagrindinių priežasčių, sąlygojančių pjovimo netikslumą, yra šūsnies išlinkimas po peiliu. Čia stebimi du reiškiniai:

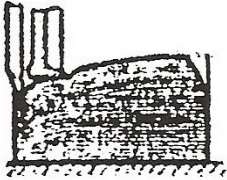
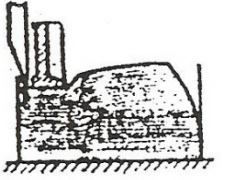
- a. Lapų ištraukimas iš prispaudiklio naudojant peilio ašmenį, kuris vyksta dėl papildomos supresuotos šūsnies deformacijos nuleidus peilį;
- b. Dar neperpjautų lapų pasislinkimas peilio atžvilgiu.



1.15 pav. Šūsnies deformacija po peiliu

1.1 lentelė. Reiškinių, atsirandančių esant skirtingai šūsnies presavimo jėgai ir skirtingam peilio aštrumui, pobūdis:

Sąlygos	Deformacijos pobūdis	Šūsnies elgesys	Pjaustymo tikslumas
Labai silpnas prispaudimas. Bukas peilis.		Šūsnis pasislenka po prispaudikliu.	Esant mažam pjaunamos juostos pločiui pjovimas nevyksta.
Silpnas prispaudimas. Bukas peilis.		Šūsnis deformuojama peilio. Viršutiniai lapai stipriai ištempiami iš prispaudiklio.	Viršutinių ir apatinių lapų ištempimas.

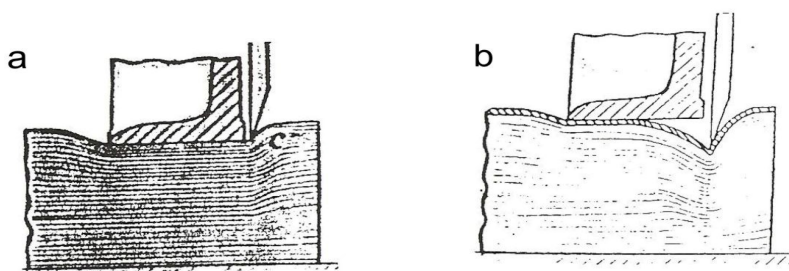
Vidutinis prispaudimas. Peilis vidutinio aštrumo.		Viršutiniai lapai išlinkę ir šiek tiek ištempiami iš prispaudiklio.	Ištempimas nežymus.
Stiprus prispaudimas. Aštrus peilis.		Pjaunant šūsnį papildomai nesideformuoja. Išlinkio beveik nėra.	Tikslus pjaustymas.

Viršutinių lapų ištempimas pjaunančia peilio briauna po prispaudikliu, esant pakankamai presuojančiai jėgai, tiesiogiai neįtakoja lapų dydžio po pjovimu tikslumo, kadangi esant išlinkimui ir vykstant lapų ištraukimui iš po prispaudiklio, kontaktas tarp peilio ašmenų ir pjaunamos šūsnies dalies yra žymiai patikimesnis.

Tačiau reikia atsižvelgti ir į tai, kad vykstant nuosekliam pjovimui, t.y. kai atpjaunamos juostos yra pjaunamos iš vienos popieriaus pusės. Juostų atpjovimo mechanizmo pagalba, viršutinių lapų ištempimas sąlygos gana žymų pjovimo netikslumą.

Viršutinių lapų matavimas po pjovimo gali tapti įrodymu, kad geometriniai lapo duomenys po jo išlenkimo ir ištempimo išlieka po prispaudimo peilio. Nors lapai išsilenkia labiau, tačiau pjaunami jie taip pat tiksliai pagal nustatytą dydį. Tai paaiškinama tuo, kad tuo metu priekinė supresuotos šūsnies dalis C (1.16 a pav.), esanti prieš prispaudiklį ir peilį, šiek tiek paaukštėja, tad peiliui toliau leidžiantis viršutiniai lapai suspaudžiami tarp šūsnies ir peilio ašmenų. Tokiu būdu tarp peilio ir viršutinio lapo iš karto atsiranda jėgos, pakankamos išlaikyti lapą nejudančioje peilio atžvilgiu padėtyje.

Leidžiantis peiliui toliau ir didėjant šūsnies deformacijai, viršutinio lapo spaudimas didėja. Lapas išsilenkia nuo pjaunančios peilio briaunos smailiu kampu (1.16 b pav.).



1.16 pav. Viršutinių lapų išlinkimas šūsnies pjovimo metu

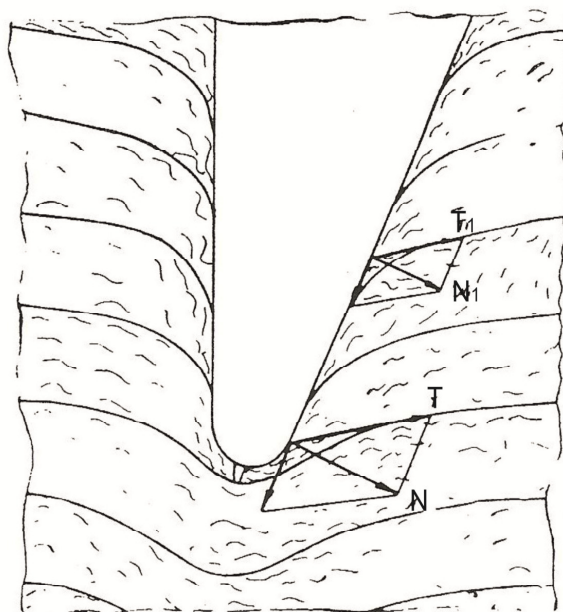
Suprantama, kad tokiomis sąlygomis, kai lapas išsilenkia, jis gerai fiksuojamas peiliu, todėl toliau viršutiniai lapai pjaunami pagal nustatytą dydį beveik tiksliai.

Pagal viršutinių lapų ištempimo dydį netiesiogiai galima nustatyti šūsnies presavimo jėgą ir pjovimo tikslumą, kadangi didėjant presavimo jėgai ištempimas mažėja.

1.5.3. Lapų atskyrimas peiliu

Dėl pjaunančios briaunos ir peilio ašmenų poveikio įvyksta popieriaus pluošto suspaudimas, plyšimas ir atskyrimas.

Dėl skeliančio peilio pjaunančios briaunos ir ašmenų poveikio pjaustomos šūsnies dalies lapų atraižos sugnybiamos ir supresuojamos, o atpjauta šūsnies dalis perstumiama horizontalia kryptimi. Lapų atskyrimo ir jėgų veikimo schema parodyta 1.17 pav.



1.17 pav. Lapų perpjovimo ir jėgų veikimo schema

Dėl atsirandančių šūsnies galą veikiančių trinties jėgų atpjauti lapai, perstumti peilio ašmenimis, patraukia paskui save dalį dar neperpjautų lapų. Pastarieji šiek tiek persistumia į priekį pjaunančios briaunos atžvilgių, ir papildomai tampriai ištempiami. Todėl lapai po pjovimo lapai būna trumpesni negu užduoto (reikiamo) dydžio. Tokia pjaustoma lapų krūva, išlyginta pagal padavimo įrenginį, parodyta 1.2 lentelėje (9 pozicija).

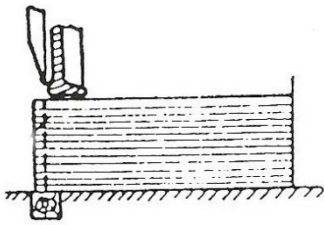
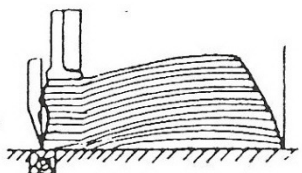
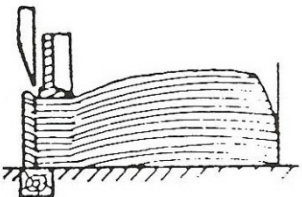
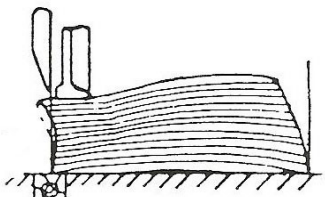
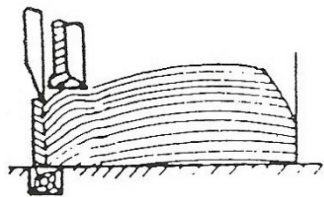
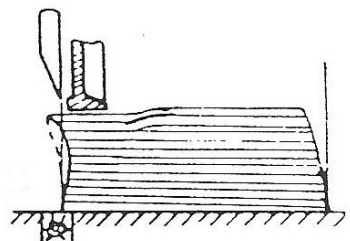
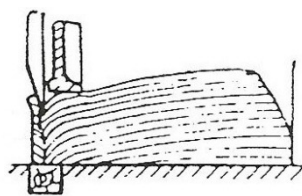
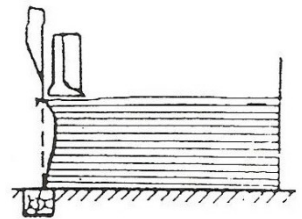
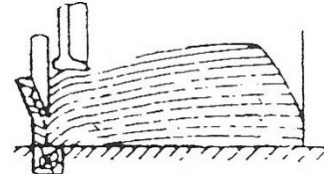
Kaip matyti iš šio pavyzdžio, tik viršutiniai ir apatiniai lapai turi tikslų dydį, o likę gaunasi šiek tiek trumpesni. Esant šūsnies aukščiui 90-120 mm, mažiausius matmenis turi lapai, esantys 20-40 mm nuo jos viršaus.

Toks lapų dydžio pokytis aiškinamas tuo, kad viršutiniai lapai fiksuojami tiksliai peilio pjaunančios briaunos atžvilgiu. Leidžiantis peiliui toliau, peilio ašmenys suspaudžia atpjautos lapų dalies atraižas. Kai peilio ašmenys liečiasi su didžiausiu šūsnies plotu, lapai ypač stipriai tempiami po peilio ašmenimis.

Peiliui toliau besileidžiantis dėl sumažėjusio lapų išsilenkimo ir ištraukiančios jėgos W poveikio, lapai ištempiami mažiau, o apatiniai lieka savo vietoje ir pjaunami tiksliai.

Lapų ištraukimas iš šūsnies vyksta kartu su tampriu jų ištempimu. Kaip įrodymas gali būti plyšio buvimas tarp nuleisto peilio ir užpakalinio perpjautos krūvos krašto. Perpjovus lapus, tempimo jėgos išnyksta, o tampriai ištemti lapai sumažėja iki tokio dydžio, kokio jie būna neįtempti, todėl jie gaunami trumpesni nei turėtų būti, tai pavaizduota 1.2 lentelėje (6 pozicija).

1.2 lentelė. Grafiškai vaizduotos lapų perstūmimo krūvoje pobūdis pjovimo metu

1 pozicija. Šūsnies laisvas būvis		6 pozicija. Pjovimo pabaiga.	
2 pozicija. Šūsnies prispaudimas.		7 pozicija. Šūsnis po apipjovimo.	
3 pozicija. Šūsnies perlenkimas po peiliu.		8 pozicija. Šūsnis po presavimo.	
4 pozicija. Peilio įsipjovimas į šūsnį.		9 pozicija. Šūsnis prispausta prie galinės atramos.	
5 pozicija. Šūsnies pjovimas.			

1.5.4. Skirtingų faktorių įtaka pjovimo tikslumui

a. Priklausomybė nuo šūsnies aukščio.

Kuo didesnis šūsnies aukštis, tuo mažesnis pjovimo tikslumas, kadangi atitinkamai didėja jos išlinkimas ir palengvėja ištempimo sąlygos.

b. Priklausomybė nuo atpjaunamos briaunos ilgio.

Tiksliai perpjauti įmanoma tik esant pakankamam pjaunamosios popieriaus šūsnies briaunos ilgiui. Jei ši briauna per trumpa, tai peilis prispaudžia lapus ir pjaunama su gana didele paklaida arba atpjauti būna aplamai neįmanoma.

Tokios briaunos, kuriai esant įmanoma pjauti, ilgis priklauso nuo pjovimo sąlygų. Kuo žemesnė šūsnis, tuo aštresnis peilis ir stipresnis prispaudimas, tuo briaunos ilgis gali būti mažesnis.

c. Priklausomybė nuo peilio užgalandinimo kampo ir peilio aštrumo.

Šūsnies pjovimo metu, peilis išlenkia ir prispaudžia lapus. Nuo peilio užgalandinimo kampo priklauso kai kurių lapų kraštų suspaudimo jėga. Didėjant užgalandinimo kampui, lapų presavimo jėga didėja, kadangi peilio briauna labiau priešinasi atpjaunamos lapų dalies pasisukimui aplink pjaunančią peilio briauną. Tai padidina vertikaliąją pjovimo jėgos dedamąją.

Peilio užgalandinimo kampo padidėjimas turėtų padidinti pjovimo jėgas ir labiau ištempti lapus, t.y. sumažinti pjovimo tikslumą.

Taip pat reiktų atkreipti dėmesį ir į peilio ašmenų aštrumą bei jų atšipimą. Sumažėjus peilio ašmenų aštrumui, padidėja pjovimo jėgos ir atsiranda tikimybė, kad kai kurie šūsnies lapai bus paprasčiausiai atplėšti, o ne atpjauti.

d. Priklausomybė nuo peilio įsipjovimo kampo.

Įsipjovus peiliui į šūsnį tam tikru kampu, sklandžiai didės pjovimo jėga.

Kuo didesnis įsipjovimo kampas (ϵ), tuo smarkesnis peilio poveikis lapams, ir savo prisilietimo taškuose jis atskiria ir atpjauna popierių.

Skiriamasis peilio briaunos nuogulos poveikis išilgai lapų palengvina jų perpjovimą, ir tokiu būdu sumažėja pjovimo jėgos. Tai įgalina perpjauti tiksliau. Žymus peilio pasvirimo kampo didinimas netikslingas, kadangi dėl didelio kiekio pluošto plyšimo gausis aiškiai pastebima netiksli lapo forma.

e. Priklausomybė nuo presavimo jėgos.

Šūsnių presavimas prieš pjovimą vyksta popieriaus pjaustymo mašinose veikiant gana nedidelei jėgai, t.y. $7-50 \text{ kg/cm}^2$, arba $1-10 \text{ kg/cm}^2$ (kai šūsnis maksimalaus aukščio).

Kadangi šūsnyje būna didelis kiekis oro, jos deformacija padidėjus presavimo jėgai taip pat gerokai padidėja, o papildoma deformacija po peiliu sumažėja.

Kai šūsnių išlinkis po peiliu nedidelis, lapų atskyrimas vyksta daugiausiai sugniužinimo dėka, kuriam reikia didesnės jėgos nei atplėšimui. Todėl didinant specifinę presavimo jėgą, bendra pjovimo jėga turėtų taip pat padidėti.

Padidėjus presavimo jėgai, pjovimo tikslumas turėtų padidėti, kadangi lapų ištraukimas apsunkinamas.

f. Priklausomybė nuo medžiagų kokybės.

Skirtingos popieriaus rūšys skiriasi savo fizinėmis ir mechaninėmis savybėmis.

Aukščiau išnagrinėtas pjovimo procesas leidžia spėti, kad skirtingų medžiagų pjovimo tikslumas, kai kitos sąlygos tokios pačios (tas pats instrumentas, režimas ir pjovimo sąlygos), priklauso nuo pjovimo ilgio, popieriaus lapų storio, lygumo.

Kuo lygesnis popierius ir mažesnis jo trinties koeficientas, tuo lengviau gali persislinkti atpjauta popieriaus dalis.

Glazūruotos popieriaus rūšys, kurios yra ypatingai lygios, turėtų būti pjaunamos tiksliau nei matinės popieriaus rūšys.

g. Priklausomybė nuo lapų storio.

Lapų storis veikia pjovimo jėgas (I. Ginzburgas [5]). Jei lapų storis mažesnis, pjovimo jėgos turėtų sumažėti. Tai galioja esant tam pačiam šūsnių aukščiui.

h. Priklausomybė nuo drėgnumo.

Yra žinoma, kad didėjant drėgnumui, sumažėja pluošto sukibimo jėga ir popieriaus lakšto tvirtumas.

Atsižvelgiant į tai, galima daryti išvadą, kad pjovimo jėga didėjant popieriaus drėgnumui sumažės. O mažėjant pjovimo jėgai, dedamoji lapų ištempimo jėga taip pat mažės. Dėl to pjovimas

taps tikslesnis. Ištempimo jėga mažės, bet didėjant popieriaus drėgnumui, mažės ir lapų standumas ir jie bus tampresni.

i. Priklausomybė nuo peilio sutepimo.

Akivaizdu, kad peilio sutepimas šiek tiek sumažins pjovimo jėgas, tačiau ypatingo poveikio tai neturės.

Pjovimo jėgų sumažėjimas dėl sutepimo taip pat šiek tiek sumažina lapų ištempimą, t.y. padidina pjovimo tikslumą.

j. Pjovimo tikslumo priklausomybė nuo prispaudiklio paviršiaus formos ir kokybės.

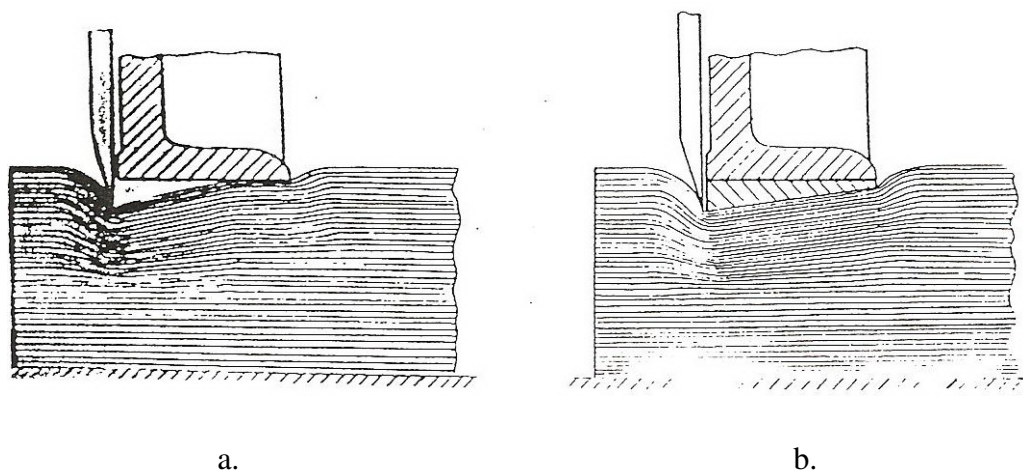
Priklausomybė nuo spaudiklio paviršiaus formos.

Krūvos presavimas prieš pjaustymą vyksta lygiais, dantytais arba pleištiniais spaudiklio plokščių paviršiais. Vienos ar kitos formos efektyvumas, užtikrinant pjovimo tikslumą, nustatomas specifiniu krūvos slėgiu po spaudikliu ir jos deformacija išilgai pjovimo linijos. Kuo šis slėgis bus didesnis, tuo lapai bus mažiau ištempiami.

Pleištinės plokštės, be to, įtakoja lapų išlinkį išilgai pjovimo linijos, kas taip pat apsunkina lapų ištempimą po prispaudikliu ir didina pjovimo tikslumą.

Šiuo požiūriu efektyviausias paviršius turėtų būti pleištinis, toliau sektų dantytas, ir po jo - lygus (1.18 pav.). Čia parodytas krūvos prispaudimas, esant lygiam ir pleištiniam paviršiui.

Priklausomybė nuo spaudiklio paviršiaus kokybės.



1.18 pav. Šūsnies prispaudimas a. lygiu ir b. pleištinio spaudiklio paviršiumi

Užsienio šaltiniuose galima rasti nuorodas apie tokių prispaudiklių plokščių medžiagų taikymą, kurių trinties į popierių koeficientas yra didelis pjovimo tikslumui pagerinti.

Tačiau nagrinėjant šį klausimą, galima padaryti išvadą, kad plokštės medžiagos rūšis gali sustabdyti tik vieną viršutinį šūsnies lapą, tačiau neįtakoja visų likusių lapų pasislinkimo šūsnyje, kadangi pastarųjų ištempimas vyksta pjovimo metu, įsipjaunant peiliui į kiekvieną iš lapų.

Iš čia galima daryti išvadą, kad prispaudimo plokštumos medžiaga negali labai įtakoti pjovimo tikslumo.

1.5.5. Faktoriai, kurie turi įtakos peilio kokybei ir jo našumui

D. Vorobjovo [3] teigimu, peilio aštrumas bei jo ilgaamžiškumas lemia pjaunamo popieriaus kokybę bei tikslumą. Jeigu atšipusį peilį tenka keisti du kartus per pamainą, tai šitas darbas atima iš pjaustymo mašinos operatoriaus apie 10 % jo vienos darbo dienos pamainos laiko. Taip pat dažnas peilio keitimas, reiškia ir tai, kad peilis pagamintas iš ne kokybiškos medžiagos ir po trumpo pjaustymo laiko, nukenčia pjaunamo popieriaus tikslumas bei kokybė. Tam kad peilis tarnautų ilgai ir patikimai, reikia atkreipti dėmesį į tai, kad jis būtų pagamintas iš kokybiško metalo ar jo lydinio, būtų pasirinktas reikalingas užgalandimo kampas, bei pasistengti technologiškai paskirstyti pamainos darbą, t.y. pakeitus peilį, pasistengti pjauti aukštesnio tikslumo reikalaujančią produkciją, ploną popierių ir panašiai, o prieš darbo pamainos pabaigą pjauti kartonus bei kitas įrišimo medžiagas.

Peilio medžiaga. Vieno peilio popieriaus pjaustymo mašinos peilius daro dviejų sluoksnių. Peilio pjaunančioji briauna yra daroma iš tokio metalo kaip chromas vanadis, volframas ar kitokio plieno, kurio kietumas turi būti ne mažesnis nei 55 pagal Rokvelą. Peilių užgalandimui naudojamas specialus įrenginys su deimantiniu šlifavimo diskų.

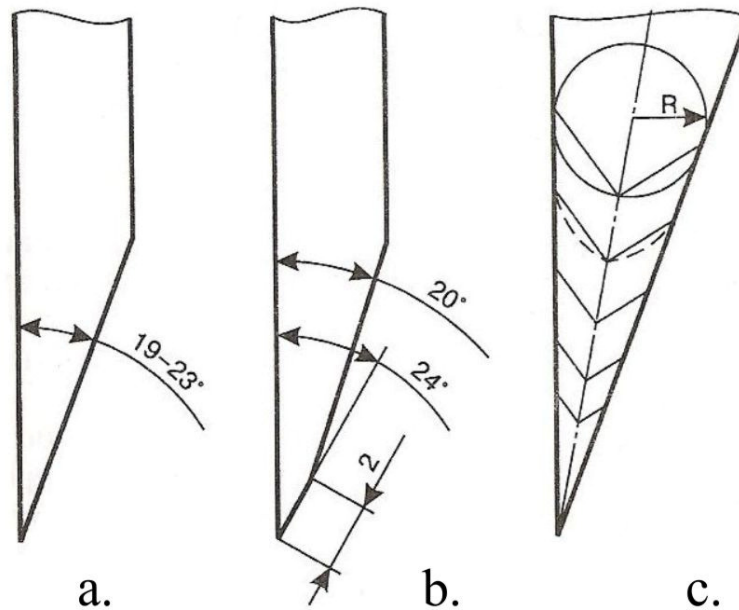
Peilio forma ir geometrija. Dažniausiai spaustuvėse yra naudojami peiliai, kurių užgalandimo kampas lygus 20° ir panaudotas tiesialinijinis peilio užgalandimo būdas (19 pav. a). Taip stengiamasi sutaupyti lėšas bei laiką keičiant peilius. Toks užgalandimo kampas yra optimaliausias pjaunant skirtingas poligrafines medžiagas, tačiau tai nereiškia, kad šis kampas yra ir geriausias. Jei peilis būtų užgalandamas mažesniu kampu, tokiu kaip pavyzdžiui $18-19^\circ$, galima būtų pasiekti tikslesnį pjovimą, tačiau peilis greitai atšiptų dėl pastovių smūgių į popieriaus šūsnį. Tačiau jį veiktų mažesnės pasipriešinimo jėgos. Todėl spaustuvėje dažnai naudojamas dvigubas tiesialinijinis užgalandimo būdas (1.19 pav. b, toks užgalandimo būdas yra naudojamas ir „Polar 92“ mašinoje), kuris leidžia sumažinti peilio pjaunančios briaunos pasipriešinimą iki 15-18 kartų. Taip pat toks užgalandimo būdas, leidžia žymiai ilgiau naudoti peilį dėl to, kad tokia peilio pjaunančiųjų briaunų formą labai artima natūraliai susidarančiai peilio ašmenų formai (1.19 pav. c).

Peilio ašmenų užgalandimo kampas. Kaip jau minėta, jei peilio užgalandimo kampas yra mažas, atsiranda tikimybė, kad pjaustant tvirtas medžiagas, jis gali greitai atšipti bei prarasti savo geras pjaunančiąsias savybes. Todėl būtina parinkti optimalų peilio užgalandinimo kampą vienai ar kitai medžiagai.

$\beta = 16-19^\circ$, tokį kampą rekomenduojamą naudoti, pjaustant minkštą bei ploną popierių.

$\beta = 21-22^\circ$, tokį kampą rekomenduojamą naudoti, pjaustant kietą ir storą popierių.

$\beta = 23-24^\circ$, tokį kampą rekomenduojamą naudoti, pjaustant laminuotą bei koširuotą kartoną.



1.19 pav. Peilio užgalandimo kampai: a - tiesialinijinis užgalandimo kampas, b - dvigubas tiesialinijinis užgalandimo kampas, c - darbo metu natūraliai susidaranti peilio ašmenų forma.

Išvados

Išnagrinėjus pateiktus darbus galima padaryti išvadą, kad problemos, susijusios su pjovimo jėgomis, atpjovimo tikslumu, taip pat su peilių patvarumu ir ilgaamžiškumu, išnagrinėtos gana plačiai.

Tačiau gautieji duomenys keičiasi, kadangi laikui bėgant keičiasi fizikinės-mechaninės poligrafinių medžiagų ir popieriaus savybės. Todėl reikėtų remtis pateiktais darbais tik tiek, kad būtų galima suprasti jėgų, atsirandančių pjovimo metu, esmę bei jų veikimo principą.

Šiuose darbuose mažai buvo nagrinėjami kiekybiniai pjovimo tikslumo duomenys ir skirtingų faktorių įtaka pjovimo tikslumui. Šiuos polyčius reikia vertinti ir atitinkamai koreguoti jau žinomus rezultatus, juos papildyti ir pritaikyti prie tobulėjančios pjaustymo technologijos ir jai keliamų reikalavimų, prie konkretesnių popieriaus savybių.

Todėl tolygesnis popieriaus pjaustymo problemų tyrimas yra aktualus. Aktualu yra gauti tikslesnius duomenis apie pjovimo tikslumą, būtinus projektavimui ir tinkamam įrenginių eksploatavimui šiuolaikinėmis gamybinėmis sąlygomis.

2. METODINĖ DALIS

2.1. Eksperimentų metodika ir sąlygos

Pasirinktoji metodika lemia duomenų gavimą pagal popieriaus pjovimo tikslumo rodiklius priklausomai nuo skirtingų faktorių.

Faktoriai buvo pasirinkti pagal tai, kas, mano manymu, labiausiai lemia popieriaus šūsies atpjovimo tikslumą.

- Pjaunamo popieriaus rūšis.
- Pjaunamo popieriaus gramatūra.
- Pjaunamo popieriaus šūsies aukštis.
- Pjaunamo popieriaus prispaudimo jėga pjovimo metu.

Todėl šiame darbe nagrinėjama keletas faktorių, lemiančių pjovimo tikslumą. Be to, pjovimo tikslumas nagrinėjamas kartu su šūsies prispaudimo jėga. Didelio faktorių keičiamųjų skaičiaus nagrinėjimas netikslingas, kadangi jis reikalautų atlikti dešimtis tūkstančių bandymų ir reikalautų atitinkamų laiko, pastangų ir medžiagų sąnaudų.

Taip pat buvo nustatytos pastovios bei kintamos faktorių reikšmės.

2.2. Pastoviosios faktorių vertės

Atliekant eksperimentus, buvo naudojamos tokios pastovios faktorių vertės:

1. Krūvos matmenys (mm):
pjovimo ilgis – 320;
atpjaunamos juostos plotis – 10.
2. Peilio geometrija:
peilio užgalandinimo kampas- 20°.
3. Šūsies suspaudimo jėga (N):
ofsetinis popierius - 30 000;
kreidinis popierius - 25 000.
4. Peilio suteptimo pobūdis:
nesuteptas.
5. Peilio aštrumas:
vidutinis.
6. Prispaudiklio plokštės dydis ir konstrukcija:
plokštės plotis - 80 mm;

paviršiaus forma ir medžiaga - dantyta plieninė plokštė;
taras tarp peilio ir spaudiklio - 0,15 mm.

Nurodytų „pastoviųjų“ faktorių verčių pasirinkimas nustatomas remiantis tokiais samprotavimais ir duomenimis.

Pjovimo ilgis $T = 320$ mm, peilio užgalandinimo kampas 20° ir peilio suteptimo pobūdis (nesuteptas) pasirinkti kaip dažniausiai naudojami gamybinėmis sąlygomis. Kadangi daug skrajučių ir kitų lapelių formatas yra A5 (148 x 210) arba A4 (210 x 297 mm), tai dažnai tenka pjauti iš A3 (450 x 320 mm) spaustuvinio formato. Todėl ir buvo pasirinktas atitinkamas pjovimo ilgis L .

Peilio judėjimo ir ėjimų skaičius, tarpo tarp peilio ir spaudiklio, taip pat spaudiklio paviršiaus formos ir medžiagos pastovios vertės dažniausiai naudojamos popieriaus pjaustymo įrenginių konstrukcijose, taip pat ir „Polar 92“ konstrukcijoje, kuria ir bus atliekami eksperimentiniai tyrimai.

Atpjaunamos juostos plotis - 10 mm, paimtas remiantis tuo, kad lapų ir knygos blokų apipjovimas paprastai neviršija 10 mm.

Peilio aštrumas - vidutinis, buvo pasirinktas dėl to, kad ekonomiškai neapsimoka dažnai keisti peilius, o pakeitimas dažniausiai vyksta, kai peilio ašmenys būna visai atšipę. Todėl vidutinis peilio aštrumas atitinka dažniausiai pasitaikančią situaciją gamyboje.

2.3. Kintamosios vertės

Kintamos vertės atitinkamai buvo pasirinktos, atsižvelgiant į eksperimentų reikalavimus:

1. Popieriaus rūšis:
offsetinis popierius - „Serixo“;
kreidinis blizgus popierius - „Galerie Art Gloss“;
kreidinis matinis popierius - „Galerie Art Silk“.
2. Popieriaus gramatūra:
offsetinis popierius - 70, 80, 90, 100, 140 g/m²;
kreidinis blizgus popierius - 100, 115, 130, 150, 170, 200, 300 g/m²;
kreidinis matinis popierius - 100, 115, 130, 150, 170, 200, 300 g/m².
3. Popieriaus krūvos aukštis:
 $H = 30$ mm;
 $H = 60$ mm;
 $H = 90$ mm.

Maksimalus šūsies aukštis buvo pasirinktas 90 mm, atsižvelgiant į techninius mašinos „Polar 92“ parametrus. Maksimalus popieriaus aukštis po prispaudiklio yra 100 mm.

4. Prispaudimo slėgis:

ofsetinis popierius - 25 000, 20 000, 13 000, 9 000 N;

kreidinis blizgus popierius - 25 000, 20 000, 13 000, 9 000 N;

kreidinis matinis popierius - 25 000, 20 000, 13 000, 9 000 N.

2.4. Bandymams pasirinktų popierių aprašymas [11]

2.4.1. Ofsetinis popierius „Serixo“

Ofsetinis popierius „Serixo“ pasižymi labai geru lygumu ir paviršiaus kokybe. Šis popierius gaminamas naudojant ISO 9002 ir ISO 14001 standartus bei taikant naujausias technologijas. Šios rūšies popierius yra nerūgštinis, todėl jį galima naudoti spausdinimams, kuriems keliama atsparumo senėjimui reikalavimai.

Popierius „Serixo“ išlaiko optimalų matmenų stabilumą esant 50–55 % santykiniam oro drėgnei ir 21–23 °C temperatūrai. Ypač reikia atkreipti dėmesį į sandėliavimo sąlygas. Prieš spausdinimą popierius turi būti aklimatizuojamas ne mažiau kaip 24 valandas. Tas yra svarbu ir dėl to, kad po spausdinimo atsiranda tikimybė, jog popierius gali prarasti savo teisingą geometrinę formą ir dėl to gali iškilti problemų apipjaunant popieriaus šūsnį į reikiamą formatą.

Popieriaus „Serixo“ šiurkštumas - 200 ml/min. (pagal Bendsen'ą ISO 8791-2), drėgnumas - 6,2 %.

2.4.2. Kreidinis popierius „Galerie Art Gloss“

„Galerie Art Gloss“ yra kreiduotas blizgantis popierius, pagamintas iš balintos cheminės celiuliozės. Tris kartus kreiduotas popieriaus paviršius yra unikaliai lygus ir suteikia galimybę gauti ypač kokybišką atspaudą rezultatą. Ant šio popieriaus galima spausdinti prestižinius gausiai iliustruotus leidinius: meno albumus, reklaminius lankstinukus, brošiūras, kalendorius, žurnalus, knygas, katalogus ir panašiai.

Spausdinant ofsetiniu būdu galima rinktis rastro liniatūrą iki 200 linijų į colį, tačiau truputį retesnis rastras būtų geriau. „Galerie Art Gloss“ sutvirtinamas susiuvant siūlais arba susegant sąsagėlėmis. Klijuotam įrišimui tinka dispersiniai klijai, bet šio įrišimo stiprumas priklausys nuo klijų ir įrangos kokybės. Didesnio nei 150 g/m² lyginamojo svorio popieriui įrišti naudoti klijus nepatartina. „Galerie Art Gloss“ galima lakuoti įvairių rūšių laku - matiniu ir blizgančiu, taip pat tinka ir UV lakas. Prieš lankstymą didesnio nei 130 g/m² lyginamojo svorio popierių reikia biguoti.

2.4.3. Kreidinis popierius „Galerie Art Silk“

Šis popierius kaip ir „Galerie Art Gloss“ yra pagamintas iš balintos cheminės celiuliozės bei tris kartus kreiduotas. Tačiau pusiau matinis paviršius paryškina iliustracijų kontrastingumą ir mažiau vargina skaitant tekstinę informaciją. Tinka spausdinti bet kokiai poligrafiniai produkcijai, pradedant nuo lapelių ir pabaigiant prestižiniais iliustruotais meno leidiniais. Spausdinant ofsetiniu būdu galima rinktis rastro liniatūrą iki 170 linijų į colį. Sutvirtinimo būdas yra analogiškas kaip ir „Galerie Art Gloss“ popieriui.

2.5. Metodiniai nurodymai

Kai nustatytos visos eksperimentams svarbios reikšmės, buvo naudota toliau pateikta metodika, leidžianti nustatyti visų minėtų faktorių įtaką. Ją galima išdėstyti tokiais punktais:

1. Kiekvieno atskirai paimto kintamojo faktoriaus įtaka tiriama gana plačiose ribose, tam kad gauti duomenis, apibūdinančius šio faktoriaus įtaką gamybinėse sąlygose.

Išimtis- krūvos matmenys, kurie pasirinkti atsižvelgiant į vieno peilio pjaukimo mašinos „Polar 92“ matmenis.

2. Kiekvieno faktoriaus įtaka buvo tiriama atsižvelgiant į pastovias visų kitų faktorių reikšmes, toliau vadinamas „pastoviosiomis“.

3. Tikrinant skirtingų faktorių įtaką, „pastoviosios“ vertės nekinta.

4. Nustatant krūvos presavimo jėgos įtaką pjovimo tikslumui, buvo atsižvelgta į pjaukimo mašinos gamintojų rekomendacijas [1].

Prispaudimo slėgis yra nurodytas (N):

Astralono permatomi lapai: 20 000–25 000

Laminuotas popierius: 25 000

Konditerinis įpakavimas: 25 000

Savikopijuojantis popierius: 30 000–40 000

Kartonas: 10 000

Kartoninis popierius: 15 000–20 000

Folijuotas popierius: 30 000

Vyniojimo (pakavimo) popierius: 30 000

Pergamentinis popierius: 25 000

Fotografinis popierius: 20 000–25 000

Cigaretinis popierius: 20 000–30 000

Etiketinis popierius: 30 000

Sintetinio pluošto popierius: 25 000

Veliūrinis popierius: 15 000

Ofsetinis popierius: 25 000–30 000

Kreidinis popierius: 20 000–25 000

Savo darbe man svarbus yra ofsetinio bei kreidinio popieriaus prispaudimo slėgiai, todėl atliekant bandymus, buvo pasirinkti aukščiau rekomenduojami didžiai.

2.6. Matavimų kiekis

Būtinai kiekvienas iš nagrinėjamų faktorių matavimų kiekis priklauso nuo gaunamų duomenų stabilumo.

Manau, kad dviejų matavimų pakanka, kad būtų galima nustatyti pjovimo tikslumo vidutinės reikšmės.

Pagrindinės kreivės sudaromos, imant nuo 2 iki 6 taškų (faktorių reikšmių), kiekvieną tašką matuojant du kartus.

Kad būtų išvengta pakartotinių apkrovų, prieš kiekvieną naują bandymą krūva supurenama, įleidžiant orą tarp lapų bei pakartotinai sumušant ir išlyginant iš visų pusių.

2.7. Įranga, matavimo prietaisai eksperimentui atlikti, peilių ir popieriaus paruošimas

2.7.1. Popieriaus pjaustymo mašina „Polar 92“

Bandymai buvo atliekami „Heidelberg“ firmos vieno peilio popieriaus pjaustymo mašina „Polar 92“. Ši mašina buvo pasirinkta dėl to, kad spaustuvės (kurioje buvo atlikti bandymai) didžiausias krūvis atitenka būtent šiai mašinai. Be to, jina yra pakankamai nauja bei turi daug elektronikos įrangos, kuri taip pat užtikrina pakankamai aukštą popieriaus pjovimo tikslumą.

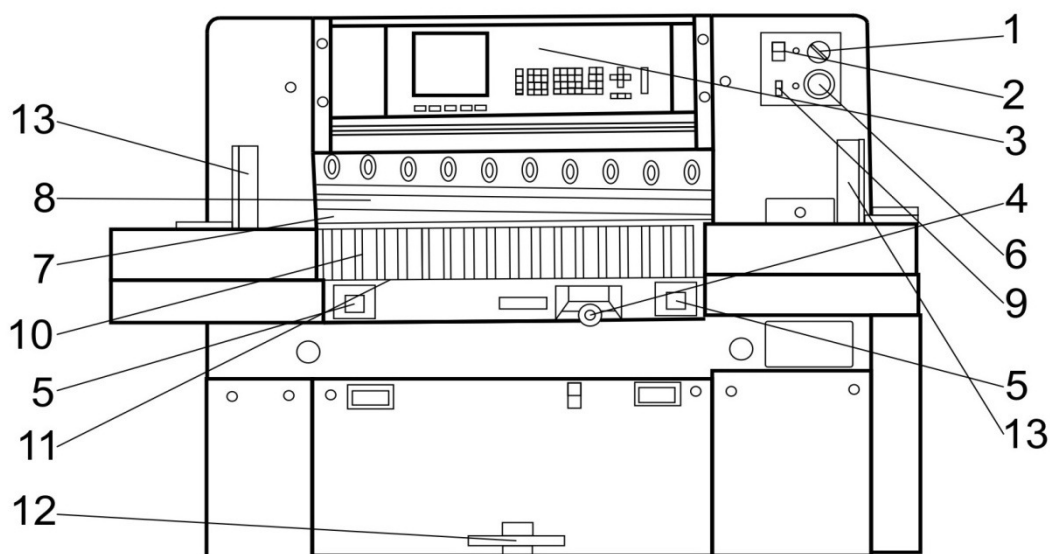
„Heidelberg“ tinklalapyje [12] šis įrenginys apibūdinamas taip:

„Polar 92“ - tipinė veinpeilė pjovimo mašina. Šis įrenginys yra greitas ir pritaikytas skirtingo didžio spaustuvėms. Kadangi jis pjauna įvairiausias medžiagas (popierių, kartoną, plėvelę) įrenginys yra tinkamas visiems iki 92 cm pločio ir 50 x 70 cm dydžio spausdinams. Turi paprastą valdymo skydelį bei aprūpintas reikiamomis saugumo elementais.



2.1 pav. „Polar 92“ 2007 metų modelis

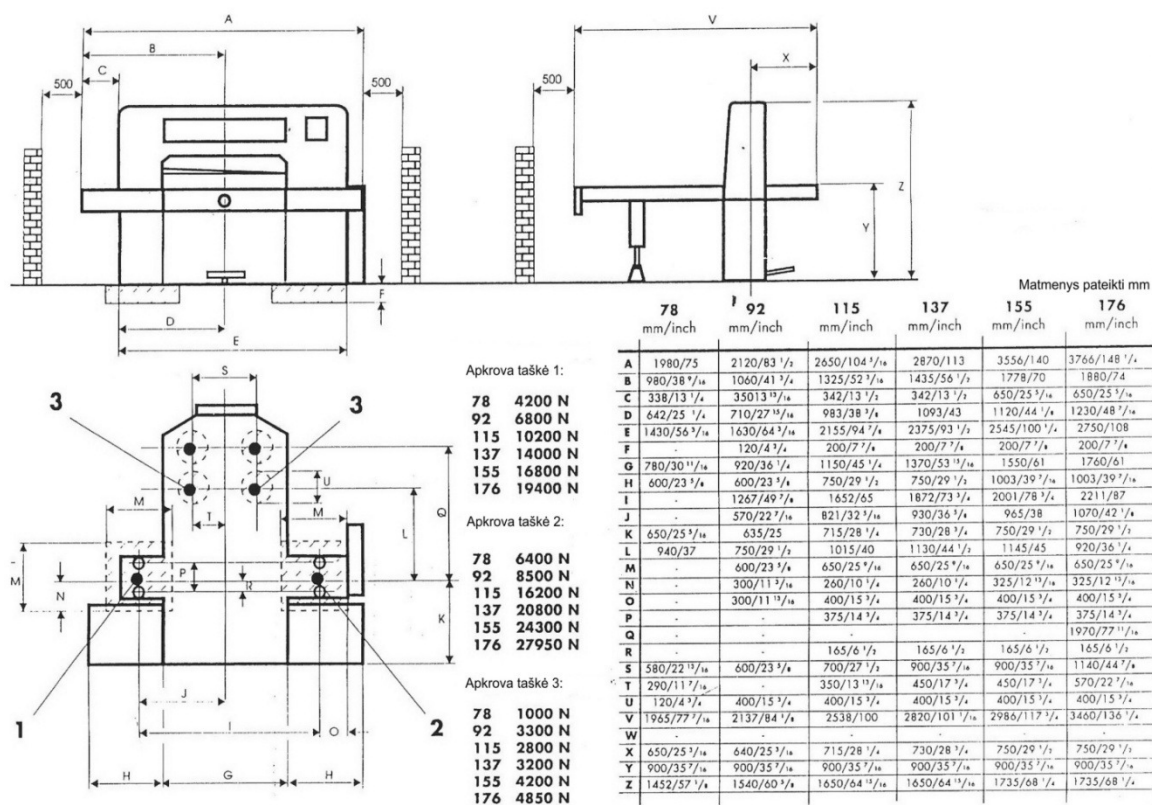
Įrenginio technologiniame pase galima rasti šiuos mašinos parametrus ir schemas:



2.2 pav. „Polar 92“ pjaustymo mašinos schema

1 - pagrindinis jungiklis; 2 - apsauginis užraktas; 3 - valdymo pultas; 4 - rankinis tiekimo (galinės) atramos valdymas; 5 - pjovimo mygtukai; 6 - prispaudimo jėgos reguliavimas (diapazonas 150–3500 kg); 7 - prispaudimas (presas); 8 - peilio laikiklis ir peilis; 9 - pjovimo linijos rankinis šviesos jungiklis; 10 - tiekimo mechanizmas (galinė atrama); 11 - pjovimo linija (maržanas); 12 - prispaudimo pedalas; 13 - fotoelektrinė šviesos uždanga (apsauginė priemonė)

Taip pat yra pateikiami ir vieno peilio pjaustymo mašinos „Polar 92“ ir kitų modelių gabaritiniai matmenys bei mašiną veikiančių apkrovų duomenys. Šie duomenys yra panaudojami, norint tinkamai paruošti vieno peilio pjovimo mašiną darbui naujoje vietoje.



2.3 pav. „Polar“ skirtingų pjovimo mašinų modelių gabaritiniai matmenys

Popieriaus pjaustymo mašinos „Polar 92“ techninės charakteristikos:

Didžiausias pjovimo ilgis - 920 mm.

Pjovimų per minutę skaičius nuo 1 iki 60.

Prispaudiklio pakilimo aukštis - 100 mm.

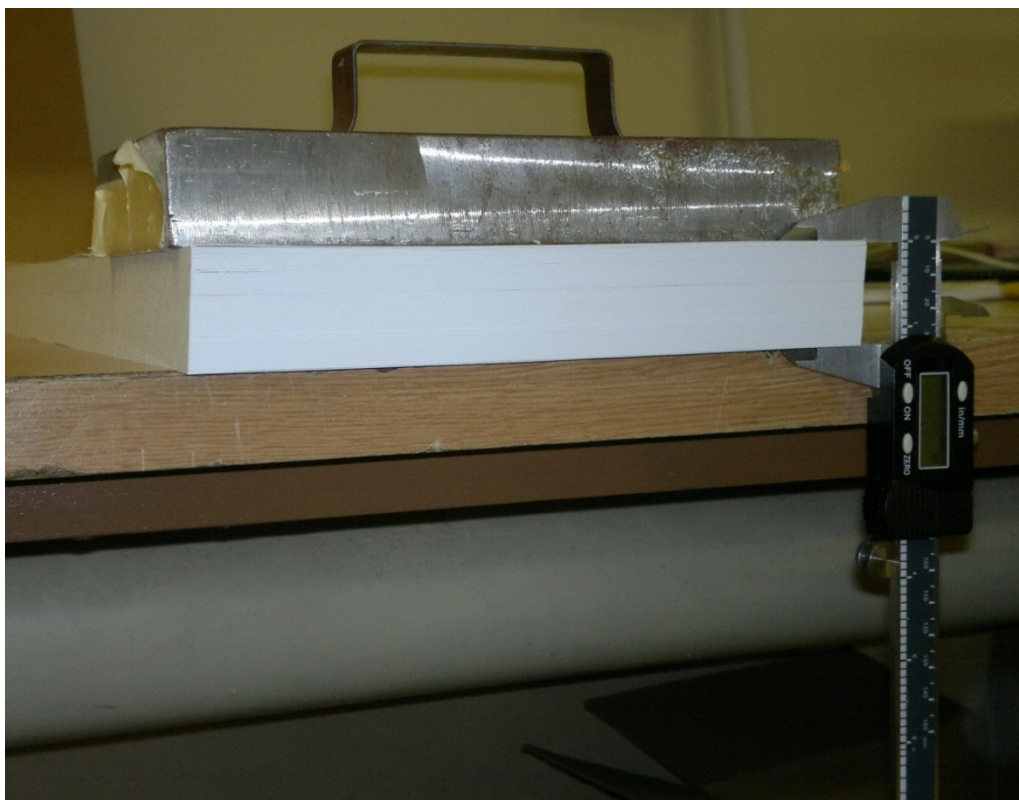
Atstumas nuo padavimo įrenginio iki pjovimo linijos - 1200 mm.

Tiekimo įrenginys pastumiamas automatiškai (sulituotas dvigubas variklis). Pirmas - trifazis kintamosios srovės trumpai sujungtas rotorius 0,11 kW; 500 aps./min. Antrasis - trifazis kintamosios srovės trumpai sujungtas rotorius 3000 aps./min. 0,75 kW. Pagrindinės pavaros variklis - trifazis kintamosios srovės trumpai sujungtas rotorius 1500 aps./min. 4 kW. Oro pagalvės variklis - trifazis kintamosios srovės trumpai sujungtas rotorius 3000 aps./min. 0,55 kW.

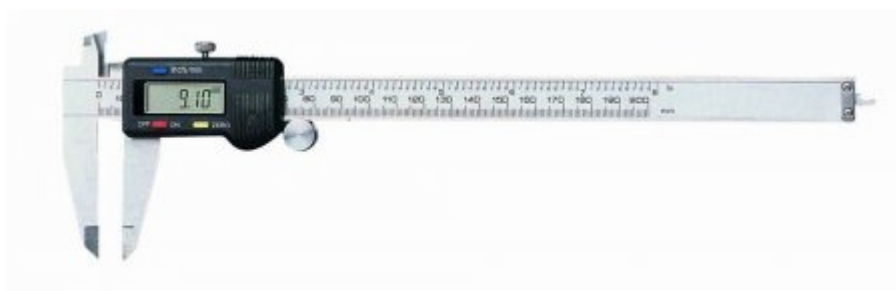
2.7.2. Popieriaus šūsnies aukščio matavimo prietaisais

Tarp šūsnies lapų visada būna oro sluoksniai, kurie apsunkina jos aukščio matavimą. Matuojant buvo naudojamas slankmatis, tačiau prieš matavimą iš popieriaus šūsnies buvo išleidžiamas įmanomas tarp lapų esančio oro kiekis bei popieriaus šūsnis buvo slegiama 3 kg svoriu (2.4 pav.).

Išmatuoti šūsnies aukščiui buvo pasirinktas „Proma“ gamintojo skaitmeninis slankmatis 150/D modelio. Slankmačio matavimo diapazonas 0–150 mm, tikslumas - 0,01 mm (24 pav.).



2.4. pav. Popieriaus šūsnies aukščio matavimas prieš eksperimentus



2.5 pav. Skaitmeninis slankmatis 150/D

2.7.3. Apipjautos popieriaus šūsnies lapų skirtumų matavimas

Apipjautos popieriaus šūsnies lapų matmenų skirtumų matavimas buvo atliekamas skaitmeniniu fotoaparatu. Šiam darbui buvo pasirinktas „Kodak Easyshare z710“ fotoaparato modelis.



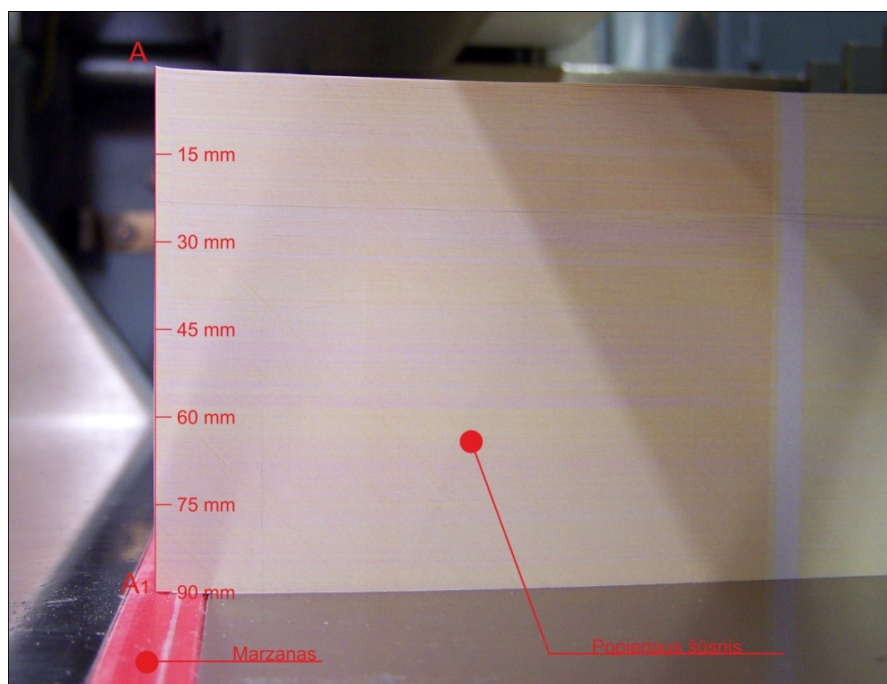
2.6 pav. Skaitmeninis fotoaparatas „Kodak Easyshare z710“

Fotoaparato technologinės charakteristikos leidžia gauti kokybišką atvaizdą su kurio toliau yra paprasta dirbti. Atvaizdą galima didinti iki reikiamo dydžio, kad pamatyti smulčiausias nuotraukos detalės, o būtent tai man ir reikėjo padaryti savo eksperimentiniuose bandymuose.

2.1 lentelė. Skaitmeninio fotoaparato „Kodak Easyshare z710“ charakteristikos

Pavadinimas	Duomenys
Efektyvūs taškai	7,1 mln.
Optinis priartinimas	10 x
Židinio nuotolis (wide)	38 mm
Židinio nuotolis (tele)	380 mm
Raiška	1/2,5“ 3072 x 2304, 2592 x 1944, 2048 x 1536, 1600 x 1200
ISO jautrumas	Auto, 64, 100, 200, 400, 800
Skaitmeninis didinimas	5 x
Fokusavimas	Automatinis
Normalus fokusavimo režimas	0,6 m
Makro fokusavimo režimas	0,12 m
Diafragma	F2,8- F3,7
Išlaikymas	8 sek – 1/1000 sek

Nufotografavus visas bandymams reikalingas pozicijas, nuotraukos buvo perkeltos į „Corel Draw Graphics Suite x5“ kompiuterinę programą, kur kiekvienam bandymui lygiagrečiai nupjautai popieriaus šūsnes kraštinei buvo nubrėžta linija A-A₁ nuo popieriaus šūsnes viršaus iki apačios. Linijos pradžios taškas laikoma ta vieta į kurią įsipjauna peilis, o pabaigos tašku laikoma ta vieta, kurioje peilis pasiekia marzaną.



2.7 pav. Popieriaus šūsnes lapų nuokrypio matavimo principas „Corel Draw Graphics Suite x5“ kompiuterinėje programoje

Nubrėžta linija vaizduoja idealų pjūvį, t. y. taip turėtų atrodyti atpjautas popieriaus šūsnies šonas. Nuo linijos A-A₁ ir yra skaičiuojamas apipjautos popieriaus šūsnies lapų skirtumas. Lapų skirtumas yra matuojamas kas 15 mm. Pirmas matavimas atliekamas 15 mm nuo šūsnies viršaus, nes tik čia galima pastebėti tam tikrus popieriaus nuokrypius nuo norimo apipjauto lapo formato. Paskutinis matavimas atliekamas ties paskutiniais popieriaus šūsnies lapais. Taip galima pamatyti, ar atpjaunamos šūsnies lapų ilgio skirtumai atsikuria pjovimo pabaigoje.

2.7.4. Eksperimentų duomenys ir jų analizė

Tai grafikų sudarymo pakopa, kuri laikoma pirmine eksperimentinių duomenų analizės pakopa.

Kreivės sudaromos pagal taškus, kurių kiekvienas išreiškia vidutinį dydį (paimtą iš atskirų parametrų matavimų reikšmių), gautą matuojant kiekvieną faktorių.

Toks būdas leidžia sudaryti kreives, tiksliau parodančias egzistuojančias priklausomybes ir leidžiančias tiksliau nustatyti faktorių ir parametrų reikšmių dėsninumus.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Pjovimo tikslumas buvo matuojamas pagal anksčiau pateiktą metodiką. Pagrindinis rodiklis buvo pasirinktas lapų skirtumas per visą popieriaus šūsnies aukštį. Ši pjovimo tikslumo charakteristika buvo pasirinkta dėl to, kad kitos (tokios kaip lapų kreivumas) priklauso nuo popieriaus pjaustymo mašinos geros techninės būklės bei prie mašinos dirbančio operatoriaus profesionalumo.

Pjovimo tikslumo duomenys šioje dalyje pateikti lentelių forma. Pateikiamos vidutinės nuokrypių reikšmės, gautos kiekvieną rodiklį išmatavus 2 kartus.

Grafikai rodo minėtų tikslumo rodiklių priklausomybę nuo įvairių faktorių.

3.1. Pasirinktų popierių lentelės pagal popieriaus rūšį, gramatūrą bei lapų storį

3.1 lentelė. Ofsetinio popieriaus charakteristika

Popieriaus pavadinimas	Popieriaus gramatūra, g/m ²	Vieno popieriaus lapo storis, mm
Serixo	70	0,090
Serixo	80	0,100
Serixo	90	0,120
Serixo	100	0,126
Serixo	140	0,164

3.2 lentelė. Kreidinio blizgaus popieriaus charakteristika

Popieriaus pavadinimas	Popieriaus gramatūra, g/m ²	Vieno popieriaus lapo storis, mm
Galerie Art Gloss	100	0,080
Galerie Art Gloss	115	0,083
Galerie Art Gloss	130	0,097
Galerie Art Gloss	150	0,112
Galerie Art Gloss	170	0,128
Galerie Art Gloss	200	0,149
Galerie Art Gloss	300	0,241

3.3 lentelė. Kreidinio blizgaus popieriaus charakteristika

Popieriaus pavadinimas	Popieriaus gramatūra, g/m ²	Vieno popieriaus lapo storis, mm
Galerie Art Silk	100	0,090
Galerie Art Silk	115	0,092
Galerie Art Silk	130	0,108
Galerie Art Silk	150	0,124
Galerie Art Silk	170	0,143
Galerie Art Silk	200	0,222
Galerie Art Silk	300	0,278

Lentelėse pateiktų popieriaus rūšių gramatūros buvo pasirinktos dėl to, kad jos yra dažniausiai naudojamos spaustuvėse.

Ofsetinis popierius su gramatūra 70 g/m² dažniausiai naudojamas apskaitos žurnalams, produkcijos priėmimo bei išdavimo žurnalams ir panašios produkcijos spausdinimui. Šios gramatūros popierius yra pasirenkamas dėl to, kad tokio pobūdžio žurnalai būna didelės apimties, tai spausdinant ant mažesnės gramatūros popieriaus, gaunamas žymiai lengvesnis ir plonesnis gaminis.

Ofsetinis popierius su gramatūra nuo 80 iki 100 g/m² dažniausiai yra naudojamas knygų kietais ir minkštais viršeliais, bei kitų leidinių skirtų kasdieniam naudojimui gamybai. Tokia gramatūra yra labai praktiška, nes puikiai tinka spausdinti juodais dažais (1+1) ir nesukelia problemų skaitant jas. Nes, pavyzdžiui, spausdinant vidinius knygų puslapius ant 70 g/m² ofsetinio popieriaus, dažnai pasitaiko, kad persišviečia vaizdas atspausdintas kitoje puslapio pusėje, todėl skaitant atsiranda akių nuovargis ir žmogus jaučia diskomfortą.

140 g/m² gramatūros ofsetinis popierius naudojamas kieto įrišimo knygų priešlapiams bei kitai komerciniai produkcijai. Jo privalumas yra tame, kad šios gramatūros popierių dar galima nebiguoti, be to atspausdinus norimą produkciją, klientas gauna tvirtą bei sunkiai persišviečiamą produktą.

Aptariant kreidinį popierių, pagal gramatūrą galima pasirinkti dvi dažniausiai naudojamas grupes. Pirmoji grupė būtų kreidinis popierius su gramatūra nuo 100 iki 170 g/m². Šis popierius naudojamas labai skirtingai. Dažniausias jis naudojamas yra spausdinant skirtingus meninius žurnalus, segtas brošiūras, lankstinukus ir panašią produkciją. Vienintelė problema yra ta, kad esant gramatūrai 150–170 g/m² popieriui yra rekomenduojama jį biguoti bei atsiranda tam tikri sunkumai spausdinant lenkiant spaudos lanką dviem ar trim lenkimais. Tačiau tokia gramatūra dažniausiai naudojama dviejų lenkimų lankstinukams bei kitai reklaminei produkcijai.

Kreidinis popierius su 200–300 g/m² gramatūra yra naudojamas spausdinant vieno lenkimo lankstinukus, žurnalų viršeliams, lapeliams ir kitai produkcijai. Šios gramatūros popierių būtinas bigavimas bei spausdinant žurnalų viršelius būtinai reikia atsižvelgti ir į popieriaus plaušo kryptį. Neatsižvelgus į tai, atsiranda tikimybė, kad klijuojant minkšto įrišimo brošiūras ar knygas, gali sunkiai prisiklijuoti viršelis prie bloko, bei per leidinio nugarėlę gali atsirasti popieriaus lūžimo žymės. Jei leidinio viršelis yra laminuotas ir nėra teisingai pasirinkta popieriaus plaušo kryptys, nugarėlėje gali atsiklijuoti laminavimo plėvelė, taip sugadindama gaminio estetinį vaizdą.

Tuo būdu eksperimentui parinktų popierių panaudojimo spektras apima beveik visus poligrafinius produktus. Todėl svarbu, kad visose pagaminimo stadijose, tame tarpe ir apipjovimo visos operacijos atitiktų keliamus tikslumo reikalavimus.

3.2. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsies aukščio

Popieriaus atpjovimo tikslumo bandymai buvo atlikti pagal aukščiau pateiktus skirtingus faktorius bei kitas minėtas priklausomybes. Bandymo rezultatai pateikti lentelėse:

3.4 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 70 g/m²

Popieriaus šūsies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	330	15	0,09
		30	0,07
60	660	15	0,08
		30	0,11
		45	0,15
		60	0,07
90	1000	15	0,08
		30	0,15
		45	0,17
		60	0,25
		75	0,16
		90	0,08

3.5 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 80 g/m²

Popieriaus šūsies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	300	15	0,07
		30	0,06
60	600	15	0,08
		30	0,1
		45	0,13
		60	0,08
90	900	15	0,07
		30	0,13
		45	0,18
		60	0,19
		75	0,11
		90	0,09

3.6 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 90 g/m²

Popieriaus šūsies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	250	15	0,07
		30	0,04
60	500	15	0,06
		30	0,1
		45	0,13
		60	0,07

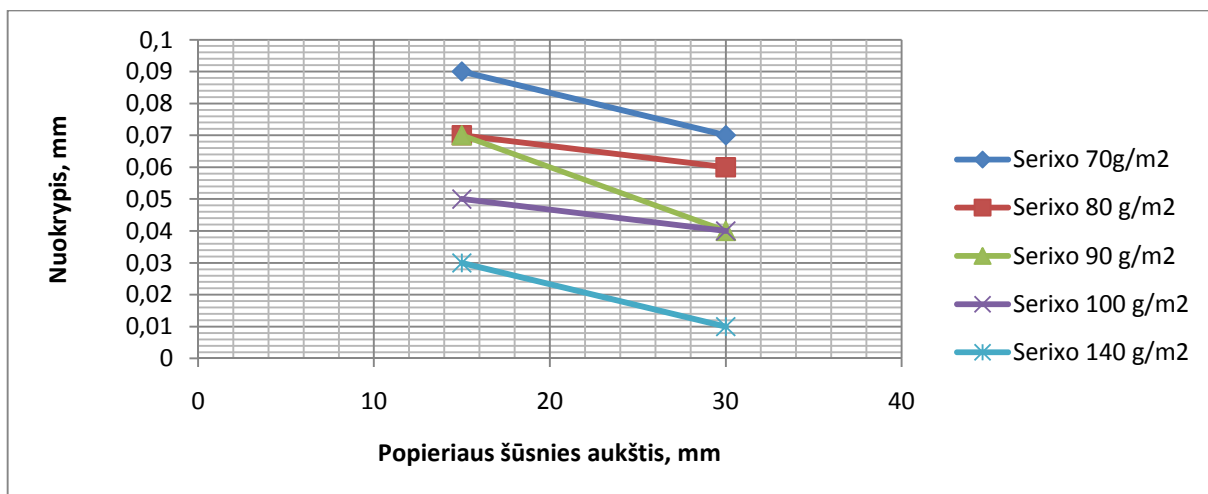
90	750	15	0,07
		30	0,12
		45	0,16
		60	0,16
		75	0,1
		90	0,08

3.7 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 100 g/m²

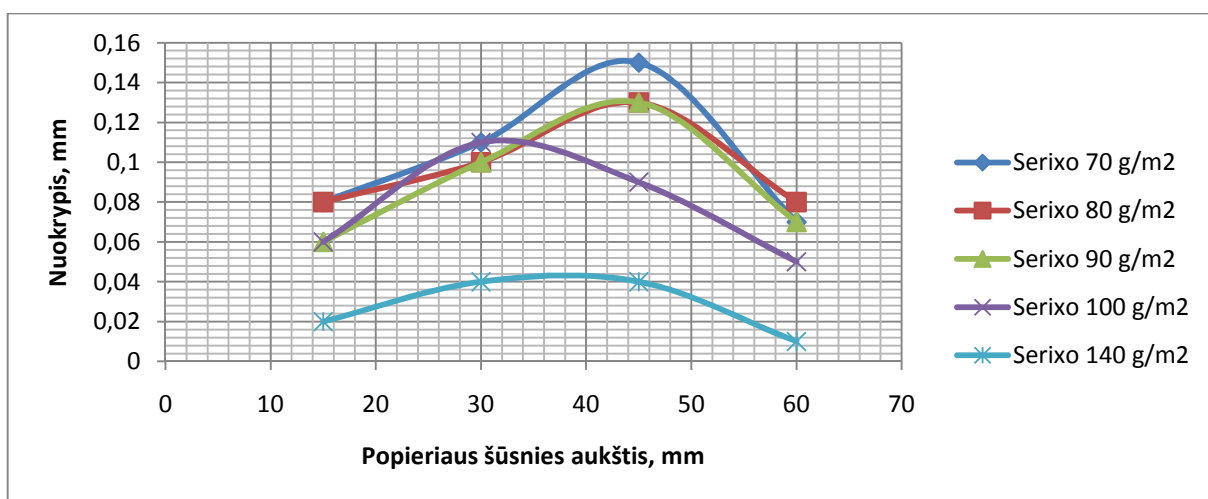
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	240	15	0,05
		30	0,04
60	480	15	0,06
		30	0,11
		45	0,09
		60	0,05
90	720	15	0,08
		30	0,11
		45	0,13
		60	0,12
		75	0,08
		90	0,04

3.8 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 140 g/m²

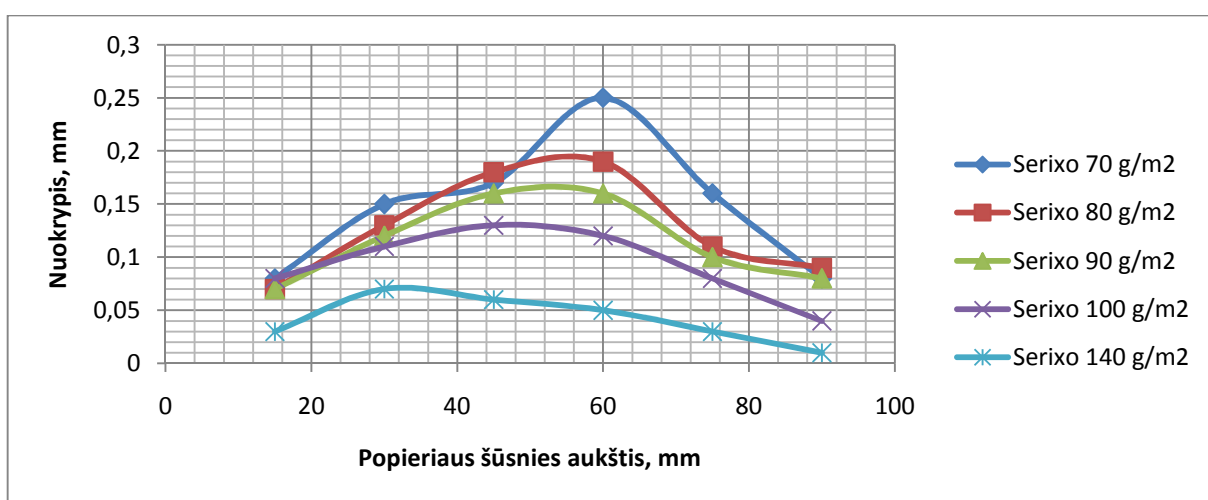
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	185	15	0,03
		30	0,01
60	370	15	0,02
		30	0,04
		45	0,04
		60	0,01
90	555	15	0,03
		30	0,07
		45	0,06
		60	0,05
		75	0,03
		90	0,01



3.1 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm



3.2 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 60 mm



3.3 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm

Iš grafikų (3.1, 3.2, 3.3 pav. bei 3.4–3.8 lentelių) matyti, kad didėjant popieriaus šūsnies aukščiui mažėja popieriaus atpjovimo tikslumas. Mažiausios atpjovimo paklaidos pastebimos esant popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm, jos siekia 0,03 mm popieriaus šūsnies viršuje ir 0,01 mm popieriaus šūsnies apačioje (esant popieriaus gramatūrai 140 g/m²). Didžiausios paklaidos yra esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm. Jos siekia net iki 0,25 mm nuo idealios atpjovimo linijos.

Išvada: didėjant ofsetinio popieriaus šūsnies aukščiui, mažėja atpjovimo tikslumas.

Taip pat, galima teigti, jog didėjant popieriaus gramatūrai nuo 70 iki 140 g/m², popieriaus atpjovimo tikslumas didėja. Todėl pjaustant didelės gramatūros ofsetinį popierių, galima pjauti ir aukštesnės popieriaus šūsnis. Esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm, 140 g/m² popieriaus atpjovimo nuokrypis nuo idealios pjovimo linijos siekia 0,07 mm popieriaus šūsnies viduryje bei sumažėja iki 0,01 mm popieriaus šūsnies apačioje.

Išvada: didėjant ofsetinio popieriaus gramatūrai, didėja ir popieriaus atpjovimo tikslumas.

3.3. Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio

Popieriaus atpjovimo tikslumo bandymai buvo atlikti pagal aukščiau pateiktus skirtingus faktorius bei kitas minėtas priklausomybes. Bandymo rezultatai pateikti lentelėse:

3.9 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 100 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	375	15	0,04
		30	0,04
60	750	15	0,04
		30	0,08
		45	0,06
		60	0,06
90	1125	15	0,07
		30	0,08
		45	0,08
		60	0,07
		75	0,07
		90	0,04

3.10 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 115 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	360	15	0,04
		30	0,03
60	720	15	0,03
		30	0,06
		45	0,05
		60	0,02
90	1080	15	0,06
		30	0,09
		45	0,11
		60	0,07
		75	0,07
		90	0,04

3.11 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 130 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	310	15	0,05
		30	0,01
60	620	15	0,04
		30	0,07
		45	0,06
		60	0,02
90	930	15	0,04
		30	0,05
		45	0,05
		60	0,04
		75	0,04
		90	0,02

3.12 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 150 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	270	15	0,04
		30	0,01
60	540	15	0,04
		30	0,05
		45	0,06
		60	0,05
90	810	15	0,04
		30	0,04
		45	0,05
		60	0,06
		75	0,07
		90	0,07

3.13 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 170 g/m²

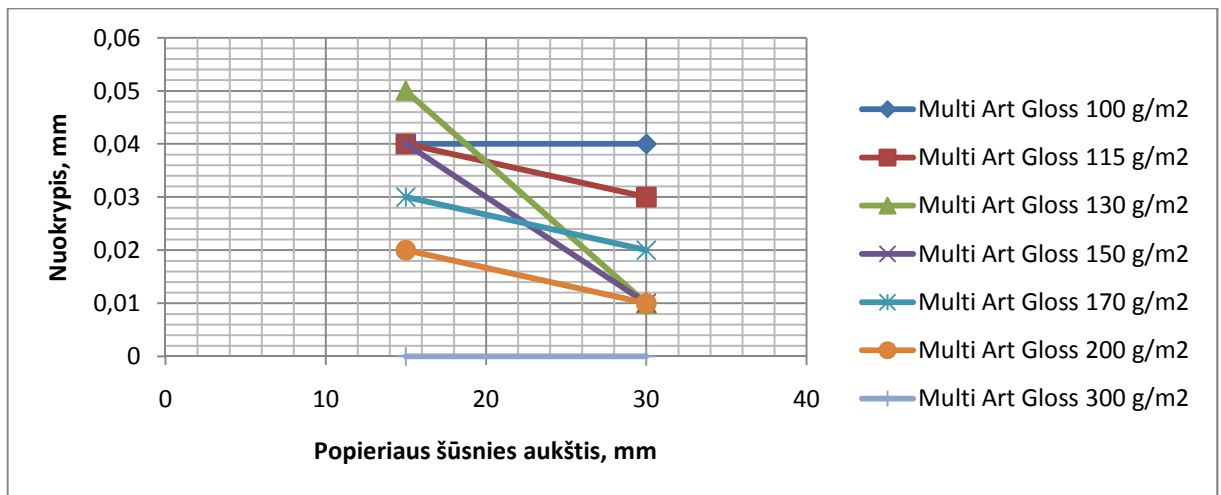
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	235	15	0,03
		30	0,02
60	470	15	0,03
		30	0,03
		45	0,04
		60	0,02
90	705	15	0,03
		30	0,04
		45	0,05
		60	0,05
		75	0,05
		90	0,04

3.14 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 200 g/m²

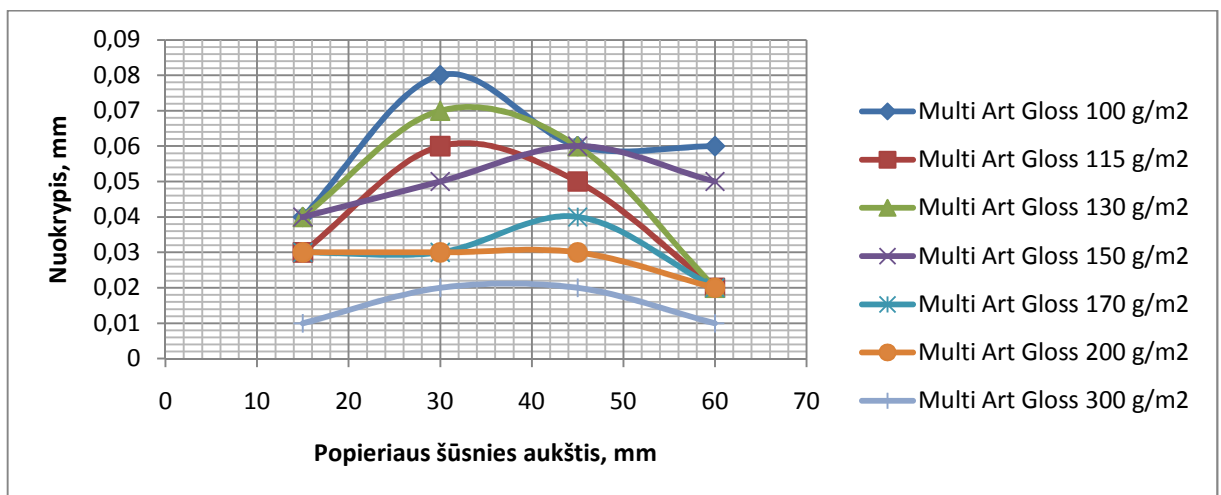
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	200	15	0,02
		30	0,01
60	400	15	0,03
		30	0,03
		45	0,03
		60	0,02
90	600	15	0,03
		30	0,03
		45	0,03
		60	0,04
		75	0,03
		90	0,02

3.15 lentelė. Kreidinis blizgus popierius „Galerie Art Gloss“ 300 g/m²

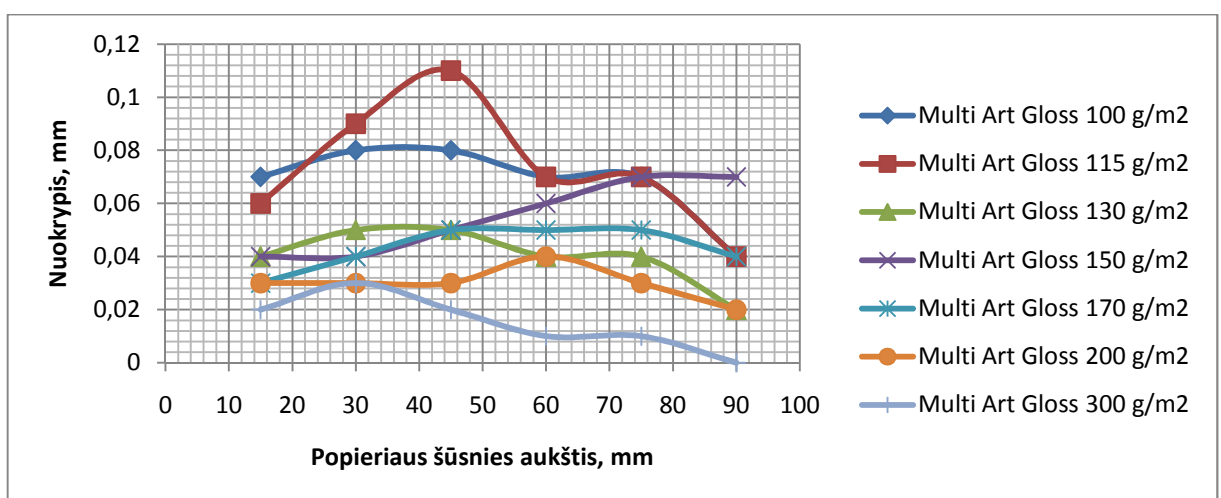
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	125	15	0
		30	0
60	250	15	0,01
		30	0,02
		45	0,02
		60	0,01
90	375	15	0,02
		30	0,03
		45	0,02
		60	0,01
		75	0,01
		90	0



3.4 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm



3.5 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 60 mm



3.6 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm

Iš grafikų (3.4, 3.5, 3.6 pav. bei 3.9–3.15 lentelių) matyti, kad didėjant popieriaus šūsnies aukščiui mažėja popieriaus atpjovimo tikslumas. Mažiausios atpjovimo paklaidos pastebimos esant popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm bei popieriaus gramatūrai 300 g/m^2 paklaidos išvis nėra ir popieriaus šūsnis apipjaunama tiksliai pagal numatyta formatą. Didžiausios paklaidos atsiranda esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm. Jos siekia iki 0,11 mm nuo idealios atpjovimo linijos.

Išvada: didėjant kreidinio blizgaus popieriaus šūsnies aukščiui, mažėja atpjovimo tikslumas.

Taip pat, galima teigti, jog didėjant popieriaus gramatūrai nuo 100 iki 300 g/m^2 , popieriaus atpjovimo tikslumas didėja. Todėl pjaustant didelės gramatūros kreidinį blizgų popierių, galima pjauti ir aukštesnės popieriaus šūsnis. Esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm 300 g/m^2 gramatūros popieriaus atpjovimo nuokrypis nuo idealios pjovimo linijos siekia 0,03 mm popieriaus šūsnies viduryje bei sumažėja iki 0 mm popieriaus šūsnies apačioje.

Išvada: didėjant kreidinio blizgaus popieriaus gramatūrai, didėja ir popieriaus atpjovimo tikslumas.

3.4. Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo popieriaus gramatūros bei popieriaus šūsnies aukščio

Popieriaus atpjovimo tikslumo bandymai buvo atlikti pagal aukščiau pateiktus skirtingus faktorius bei kitas minėtas priklausomybes. Bandymo rezultatai pateikti lentelėse:

3.16 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 100 g/m^2

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	335	15	0,05
		30	0,04
60	670	15	0,06
		30	0,08
		45	0,08
		60	0,05
90	1005	15	0,06
		30	0,09
		45	0,08
		60	0,08
		75	0,07
		90	0,05

3.17 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 115 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	330	15	0,05
		30	0,05
60	660	15	0,05
		30	0,06
		45	0,07
		60	0,07
90	990	15	0,06
		30	0,09
		45	0,08
		60	0,07
		75	0,06
		90	0,05

3.18 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 130 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	280	15	0,04
		30	0,03
60	560	15	0,03
		30	0,09
		45	0,12
		60	0,07
90	840	15	0,03
		30	0,05
		45	0,09
		60	0,11
		75	0,07
		90	0,05

3.19 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 150 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	240	15	0,04
		30	0,02
60	480	15	0,04
		30	0,06
		45	0,06
		60	0,05
90	720	15	0,04
		30	0,04
		45	0,06
		60	0,06
		75	0,05
		90	0,05

3.20 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 170 g/m²

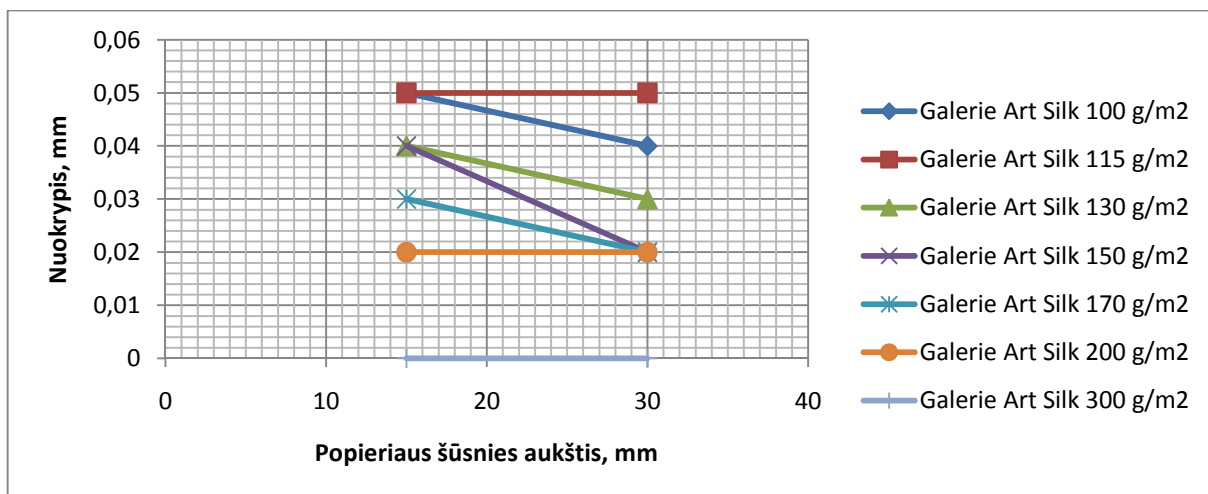
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	210	15	0,03
		30	0,02
60	420	15	0,025
		30	0,04
		45	0,04
		60	0,03
90	630	15	0,03
		30	0,05
		45	0,05
		60	0,04
		75	0,03
		90	0,03

3.21 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 200 g/m²

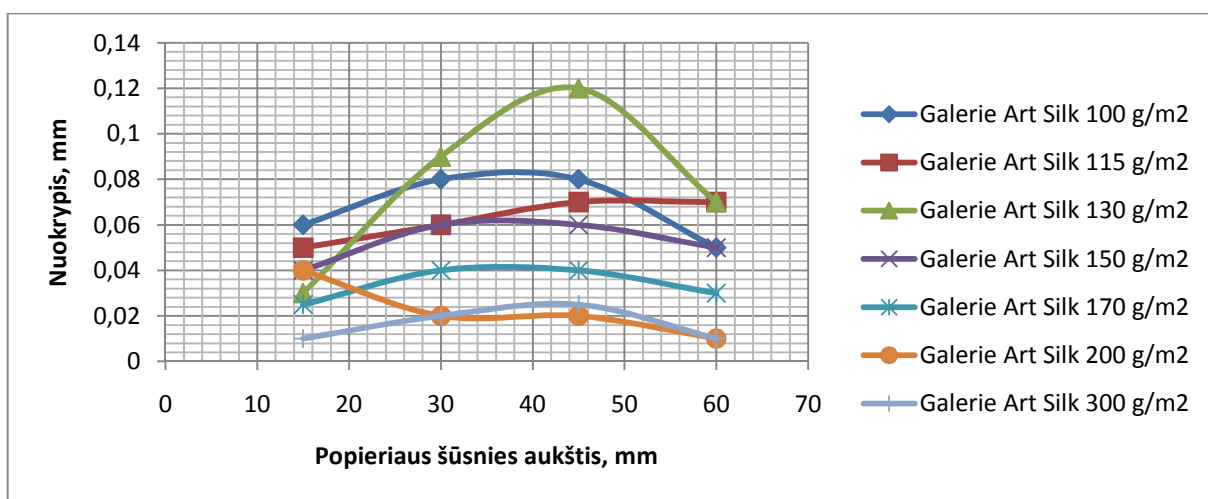
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	135	15	0,02
		30	0,02
60	270	15	0,04
		30	0,02
		45	0,02
		60	0,01
90	405	15	0,03
		30	0,04
		45	0,03
		60	0,03
		75	0,02
		90	0,02

3.22 lentelė. Kreidinis matinis popierius „Galerie Art Silk“ 300 g/m²

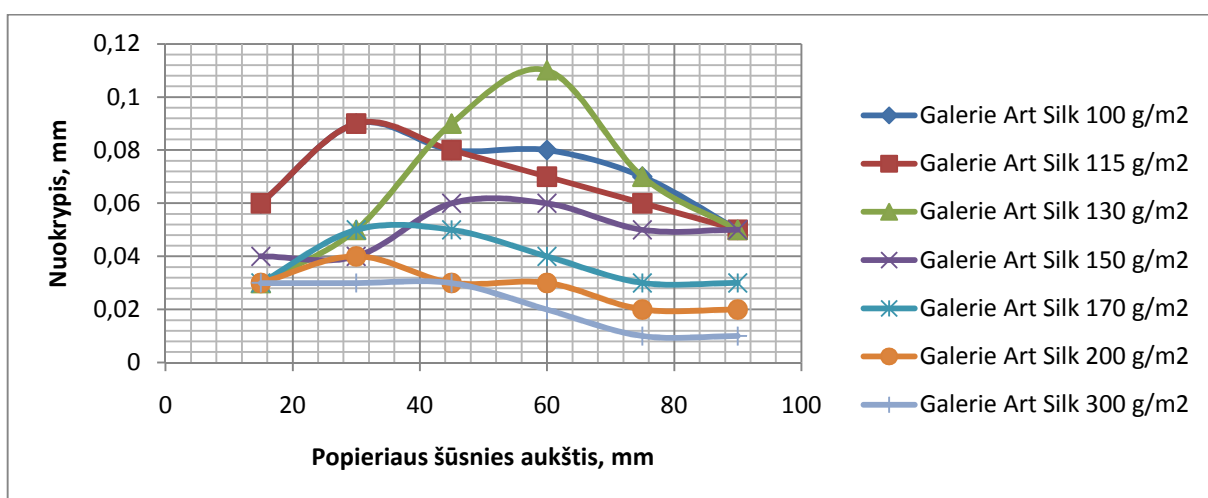
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Lapų skaičius šūsnyje, vnt.	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
30	110	15	0
		30	0
60	220	15	0,01
		30	0,02
		45	0,025
		60	0,01
90	330	15	0,03
		30	0,03
		45	0,03
		60	0,02
		75	0,01
		90	0,01



3.7 pav. Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm



3.8 pav. Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 60 mm



3.9 pav. Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjovimo linijos, esant skirtingoms popieriaus gramatūroms bei popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm

Iš grafikų (3.7, 3.8, 3.9 pav. bei 3.16–3.22 lentelių) matyti, kad didėjant popieriaus šūsnies aukščiui mažėja popieriaus atpjovimo tikslumas. Mažiausios atpjovimo paklaidos pastebimos esant popieriaus šūsnies aukščiui 30 mm bei popieriaus gramatūrai 300 g/m^2 paklaidos išvis nėra ir popieriaus šūsnis apipjaunama tiksliai pagal numatyta formatą. Didžiausios paklaidos atsiranda esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm. Jos siekia iki 0,09 mm nuo idealios atpjovimo linijos.

Išvada: didėjant kreidinio matinio popieriaus šūsnies aukščiui, mažėja atpjovimo tikslumas.

Taip pat, galima teigti, jog didėjant popieriaus gramatūrai nuo 100 iki 300 g/m^2 , popieriaus atpjovimo tikslumas didėja. Todėl pjaustant didelės gramatūros kreidinį matinį popierių, galima pjauti ir aukštesnes popieriaus šūsnis. Esant maksimaliam popieriaus šūsnies aukščiui 90 mm, 300 g/m^2 popieriaus atpjovimo nuokrypis nuo idealios pjovimo linijos siekia 0,03 mm popieriaus šūsnies viduryje ir sumažėja iki 0,01 mm popieriaus šūsnies apačioje.

Išvada: didėjant kreidinio matinio popieriaus gramatūrai, didėja ir popieriaus atpjovimo tikslumas.

Atlikus bandymus su skirtingomis popieriaus rūšimis pastebėta, kad didžiausi atpjovimo netikslumai atsiranda pjaunant ofsetinį popierių didžiausias nuokrypis yra 0,25 mm esant 70 g/m^2 gramatūros popieriui. Kreidinis matinis popierius pagal atpjovimo nuokrypį būtų antroje vietoje. Didžiausias šio popieriaus nuokrypis yra 0,09 mm, esant 100 g/m^2 gramatūros popieriui. Tiksliausiai buvo supjautas kreidinis blizgus popierius. Jo didžiausias nuokrypis buvo 0,08 mm, esant 100 g/m^2 gramatūros popieriui.

Išvada: atlikus bandymus, nustatiau, kad didžiausią atpjovimo nuokrypį turėjo ofsetinis popierius.

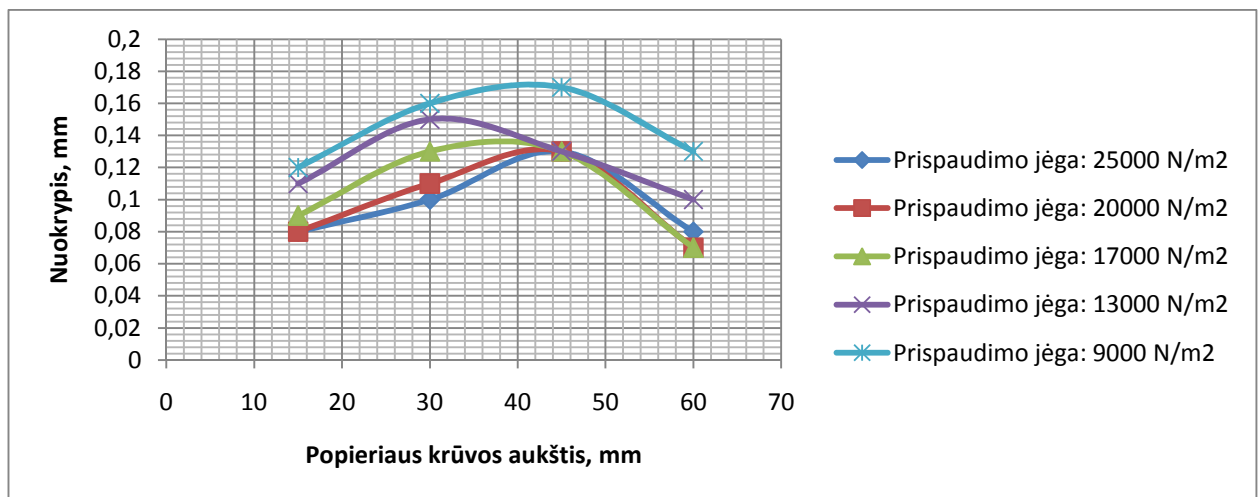
3.5. Popieriaus atpjovimo tikslumas priklausomai nuo pjaunamos popieriaus šūsnies prispaudimo jėgos

Popieriaus atpjovimo tikslumo bandymai buvo atlikti pagal aukščiau pateiktus skirtingus faktorius bei kitas minėtas priklausomybes. Tačiau atsižvelgiant į anksčiau gautus bandymo rezultatus buvo pasirinktas tik vienas popieriaus šūsnies aukštis, kuris yra lygus 60 mm. Kadangi pjaunant tokio aukščio popieriaus šūsnį buvo gauti pakankamai tikslus atpjovimo nuokrypio rezultatai.

Taip pat buvo pasirinkta tik viena popieriaus gramatūra. Pasirinkimą nulėmė tos popieriaus gramatūros populiarumas spaustuvės gamybiniame procese. Ofsetinis 80 g/m^2 popierius dažniausiai spaustuvėse naudojamas vidinių knygų puslapių spausdinimui. Kreidinis blizgus ir kreidinis matinis popierius 150 g/m^2 dažniausiai naudojamas reklaminiui produkcijai spausdinti, todėl užima didžiausią spaustuvėje naudojamų popieriaus dalį. Bandymo rezultatai pateikti lentelėse:

3.23 lentelė. Ofsetinis popierius „Serixo“ 80 g/m²

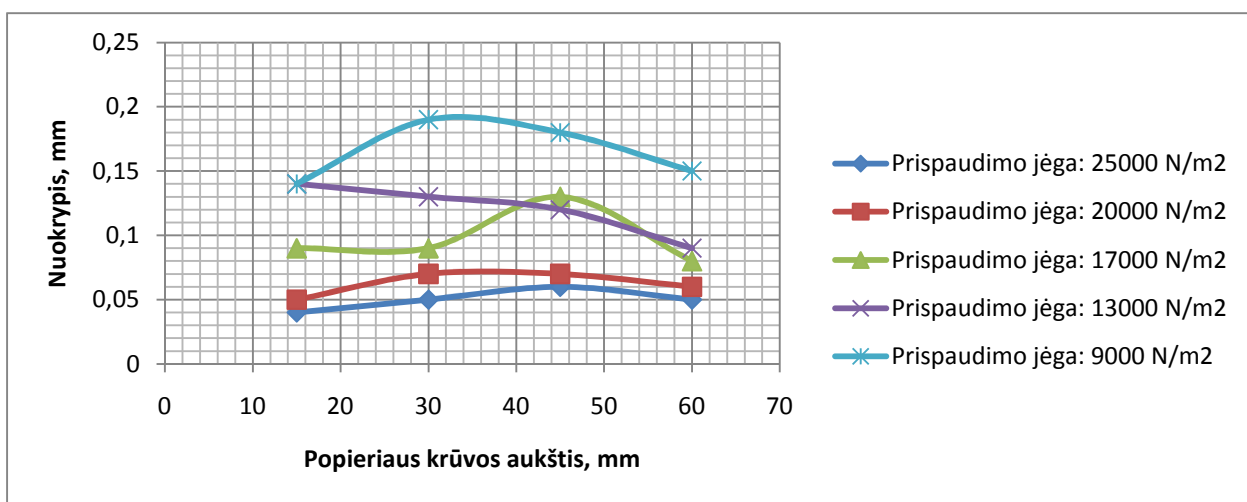
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Prispaudimo jėga, N/m ²	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
60	25000	15	0,08
		30	0,1
		45	0,13
		60	0,08
	20000	15	0,08
		30	0,11
		45	0,13
		60	0,07
	17000	15	0,09
		30	0,13
		45	0,13
		60	0,07
	13000	15	0,11
		30	0,15
		45	0,13
		60	0,1
	9000	15	0,12
		30	0,16
		45	0,17
		60	0,13



3.10 pav. Ofsetinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjūvio linijos, esant skirtingai popieriaus šūsnies prispaudimo jėgai

3.24 lentelė. Ofsetinis popierius „Galerie Art Gloss“ 150 g/m²

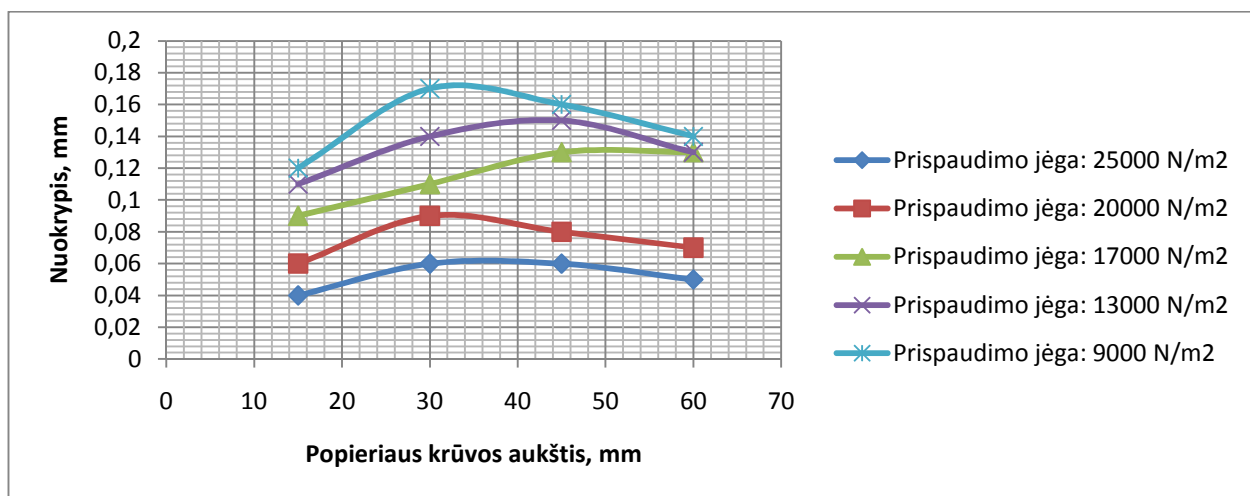
Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Prispaudimo jėga, N/m ²	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
60	25000	15	0,04
		30	0,05
		45	0,06
		60	0,05
	20000	15	0,05
		30	0,07
		45	0,07
		60	0,06
	17000	15	0,09
		30	0,09
		45	0,13
		60	0,08
	13000	15	0,14
		30	0,13
		45	0,12
		60	0,09
	9000	15	0,14
		30	0,19
		45	0,18
		60	0,15



3.11 pav. Kreidinio blizgaus popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjūvio linijos, skirtingai popieriaus šūsnies prispaudimo jėgai

3.25 lentelė. Ofsetinis popierius „Galerie Art Silk“ 150 g/m²

Popieriaus šūsnies aukštis, mm	Prispaudimo jėga, N/m ²	Matuojamasis šūsnies aukštis, mm	Nuokrypis nuo pjūvio linijos, mm
60	25000	15	0,04
		30	0,06
		45	0,06
		60	0,05
	20000	15	0,06
		30	0,09
		45	0,08
		60	0,07
	17000	15	0,09
		30	0,11
		45	0,13
		60	0,13
	13000	15	0,11
		30	0,14
		45	0,15
		60	0,13
	9000	15	0,12
		30	0,17
		45	0,16
		60	0,14



3.12 pav. Kreidinio matinio popieriaus atpjovimo tikslumo nuokrypiai nuo pjūvio linijos, esant skirtingai popieriaus šūsnies prispaudimo jėgai

Iš grafikų (3.10, 3.11, 3.12 pav. bei 3.23–3.25 lentelių) matyti, kad mažėjant popieriaus šūsies prispaudimo jėgai, mažėja ir atpjovimo tikslumas. Geriausi atpjovimo rezultatai gaunami esant maksimaliai prispaudimo jėgai $25\,000\text{ N/m}^2$. Ofsetinio popieriaus maksimalus nuokrypis esant tokiai jėgai yra 0,13 mm, esant 45 mm atstumui nuo šūsies viršaus, kreidinio blizgaus popieriaus maksimalus nuokrypis esant tai pačiai prispaudimo jėgai yra 0,06 mm, esant 30 mm ir 45 mm atstumui nuo šūsies viršaus ir kreidinio matinio popieriaus nuokrypis gautas identiškas kaip ir kreidiniam blizgiam popieriui.

Mažinant prispaudimo jėgą iki $9\,000\text{ N/m}^2$, gaunami žymiai didesni nuokrypiai. Ofsetiniam popieriui tas nuokrypis lygus 0,17 mm esant 45 mm atstumui nuo šūsies viršaus, kreidiniam blizgiam - 0,19 mm 30 mm atstume nuo šūsies viršaus, kreidinio matinio - 0,17 mm esant 30 mm atstumui nuo šūsies viršaus.

Išvados: mažinant popieriaus prispaudimo jėgą, mažėja ir atpjovimo tikslumas. Todėl pjauant popieriaus šūsį, reikia laikytis popieriaus pjovimo mašinos gamintojų rekomendacijų ir pjauti naudojant tik tokią prispaudimo jėgą, kuri užtikrins tikslų atpjovimą.

BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Atlikus eksperimentus ir ištyrus popieriaus pjovimo tikslumą su vieno peilio pjaustymo mašina, galima padaryti tokias išvadas:

1. Pjaunamo popieriaus rūšis turi įtakos popieriaus atpjovimo tikslumui. Didžiausias atpjovimo nuokrypis išmatuotas, pjaustant ofsetinį popierių. Mažesni netikslumai atsiranda pjaustant kreidinį matinį ir kreidinį blizgų popierių. Todėl pjaustant ofsetinį popierių, operatorius turi atkreipti dėmesį į tinkamą prispaudimo jėgą ir privalo pasirinkti tinkamą šūsnes aukštį.
2. Mažėjant popieriaus gramatūrai, mažėja ir popieriaus atpjovimo tikslumas. Mažiausi pjovimo nuokrypiai gauti esant didžiausiai ofsetinio popieriaus gramatūrai 140 g/m^2 ir esant 300 g/m^2 kreidinio popieriaus gramatūrai. Pjaustant mažos gramatūros popierių geriausiai pasirinkti vidutinio dydžio popieriaus šūsnį ir pagal galimybę padidinti prispaudimo jėgą.
3. Didėjant popieriaus šūsnes aukščiui, popieriaus atpjovimo tikslumas mažėja. Esant popieriaus šūsnes aukščiui 90 mm, gauti didžiausi atpjovimo netikslumai. Todėl tam tikrais atvejais galima pasiekti didesnę atpjovimo tikslumą sumažinant šūsnes aukštį. Tačiau esant reikalui, padidinus prispaudimo jėgą ir esant didesnės gramatūros popieriui, galima pjauti ir aukštas popieriaus šūsnes.
4. Mažinant popieriaus prispaudimo jėgą, atsiranda didelių atpjovimo netikslumų. Todėl reikia stengtis palaikyti rekomenduojamą prispaudimo jėgą. Jeigu neįmanoma tinkamai prispausti šūsnį, reikėtų mažinti šūsnes aukštį.
5. Rezultatai buvo panaudoti gamyboje.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Pjovimo mašinos „Polar 92“ techninis pasas. Vokietija, 2007.
2. В.Т. Бушунов. „Исследование сопротивления бумаги резанию на бумагорезательной машине БР-119“. Москва. 1938.
3. Д.В. Воробьёв. „Технология послепечатных процессов“. Москва. 2000.
4. И. Георгиевский, А. Полудов. „Измерение сил резания в бумагорезательных машинах“. Журнал „Полиграфия“. 1982.
5. В.З. Гинзбург. „Исследование процесса резания на бумагорезательных машинах“. Диссертация на соискание кандидата технических наук. Москва. 1958.
6. В. Иващенко. „Методы повышения износостойкости ножей бумагорезательных машин“. Журнал „Полиграфия“. 1972.
7. А. Кузнецов, Р. Ласковая, И. Левин. „Повышение стойкости ножей бумагорезальных машин“. Журнал „Полиграфия“. 1979.
8. Б.М. Мордовин. „Конструкции и расчёт полиграфических машин“. Москва. 1951, 1953, 1961.
9. В. Тимошенко. „Методы повышения износостойкости ножей бумагорезальных машин“. Журнал „Полиграфия“. 1976.
10. В.С. Цацкин. "Процесс резания бумаги в столе и сопротивления резанию". Москва. 1978.
11. http://www.antalys.lt/sitesweb/FO/pages/interne-1303-66-22329-rich_text-127712.html
12. http://www.heidelberg.com/www/html/en/content/products/postpress/cutting/polar/polar_92