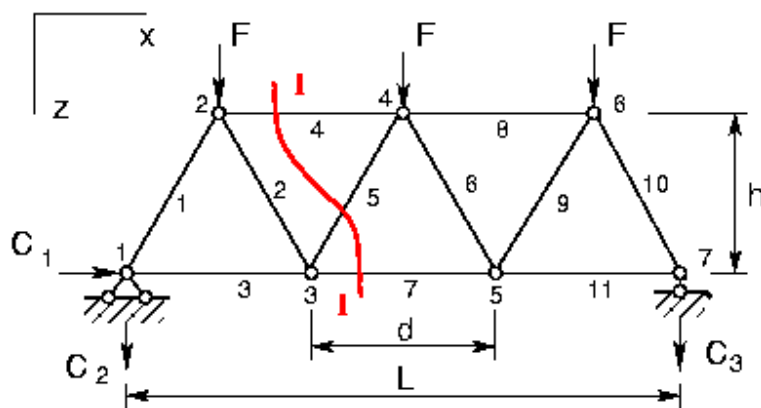


Andres Lahe

Ehitusmehaanika

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks



Tallinn
2003

Dokumendi koostas Andres Lahe, 2003-04-29
e-mail: alahe@staff.ttu.ee
<http://staff.ttu.ee/~alahe/>
Tallinna Tehnikaülikool
Mehaanikainstituut
<http://www.ttu.ee/>

Käesolev dokument on vaba. Te võite seda levitada ja/või muuta vastavalt GNU üldise avaliku litsentsi tingimustele, nagu need on Vaba Tarkvara Fondi sõnastatud; kas litsentsi versiooni number 2 või (vastavalt Teie valikule) ükskõik millist hilisemat versiooni.

Seda dokumenti levitatakse lootuses, et see on kasulik, kuid ILMA IGASUGUSE GARANTIITA; isegi KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI GARANTIITA või SOBIVUSELE TEATUD KINDLAKS EESMÄRGIKS.

Üksikasjade suhtes vaata GNU üldist avalikku litsentsi.

Te peaks olema saanud GNU üldise avaliku litsentsi koopia koos selle dokumendiga, kui ei, siis kontakteeruge *Free Software Foundation*'iga, 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

GNU üldise avaliku litsentsi koopia. Lisa **F** lk 87
ehk <http://linux.ee/materjalid/gpl/>

Õppevahend on vormindatud tekstitöötlusprogrammiga \LaTeX (loe: lateh). Tekstitöötlusprogramm \LaTeX on programmi \TeX (loe: teh) makropakett. \TeX erineb kirjastuste süsteemidest *VENTURA* ja *PageMaker* selle poolest, et ta on *public domain*'i produkt. \LaTeX -is kirjutatud teksti on võimalik töödelda msdos, UNIX (Linux) ja teistel arvutitel. \LaTeX disainib aruandeid, artikleid, raamatuid. Stiilifailid (*.sty failid) valivad pealkirjade suuruse, numeratsiooni, jooniste ja valemite paigutuse, aitavad koostada sisukorda, panevad indekseid, kirjandusviiteid jne.

\LaTeX 'i kohta loe kodulehelt <http://staff.ttu.ee/~alahe/>

Kaane kujundanud Ann Gornischeff

© 2003 Tallinna Tehnikaülikool

ISBN 9985-59-384-7

Mente et manu

Õppevahend on ehitusmehaanika kursuse EME3010, 5.0 AP 6 3-0-3 E S ja EME3020, 3.5 AP 4 2-0-2 E S

Ehitusmehaanika I [EME0011](#)¹ 3,0 AP 3,5 1,5-0-2 E S ja

Ehitusmehaanika II [EME0012](#)² 3,0 AP 3,5 1,5-0-2 E K

kuulajatele Tallinna Tehnikaülikoolis.

Õppeaine tööprogrammi saab [aadressilt](#)³. Internetis oleva [tööprogrammi](#)⁴ kirjanduse viidetega saab vormistada raamatukogus nõudesedelid. Kui klõpsate esitamisele tuleva iseseisva ülesande numbri järel olevale kastikesele, satute ülesande tekstile ja joonisele. Ülesannete kogud [\[RT83\]](#) ja [\[ERL88\]](#) on otsas. Järgnevalt on ülesannete kogudest [\[RT83\]](#) ja [\[ERL88\]](#) valitud ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks.

Näidisülesandeid harjutamiseks saab kogudest [\[ER83\]](#), [\[ERL85\]](#), [\[ER77\]](#).

Ehitusmehaanika [õpikust](#) [\[Rää75\]](#)⁵ leiab hulga näiteid.

Käesolev e-raamat on saadaval aadressil

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/ylesanded/itoopdf.pdf>

Suur aitäh keeleteimetaja Juhan Nurme'le teksti silumise eest.

Andres Lahe

¹http://ar.va.ttu.ee/v/v/p/ois.ineti_aine.andmed?AINEKESE_ID=29394&TAG=1

²http://ar.va.ttu.ee/v/v/p/ois.ineti_aine.andmed?AINEKESE_ID=29414&TAG=1

³<http://staff.ttu.ee/~alahe/tudeng/EME3010t03.pdf>

⁴<http://staff.ttu.ee/~alahe/tooprogramm.html>

⁵<http://www.lib.ttu.ee/dbs/item.asp?bkirjenr=b13036889>

Sisukord

Sisukord	5
Joonised	7
Tabelid	9
1 Sissejuhatus	11
1.1 Tööde juhend	11
2 Staatikaga määratavad süsteemid	15
2.1 Staatikaga määratav mitmesildeline tala	15
2.2 Kolme liigendiga kaar	21
2.3 Kolme liigendiga raam	25
2.4 Talasõrestik	26
2.5 Siirete arvutus	29
3 Staatikaga määramatud süsteemid	33
3.1 Raami arvutus jõumeetodil	33
3.2 Jätkuvtala	38
3.3 Raami arvutus deformatsioonimeetodil	39
3.4 Raami kriitilise koormuse määramine	43
Lisa	45
A Mõjujooned. Märgireeglid	45
A.1 Mõjujooned	45
A.2 Epüürid ja diferentsiaalseosed	47
A.3 Põikjõud vardas	48
A.4 Staatikaga määratav mitmesildeline tala	49
A.5 Staatikaga määramatuse aste	49
A.6 Kaare telgjoone võrrandid	49
A.7 Kaare sisejõud	50
A.8 Eesarvud	51

B Tabelid	55
B.1 Kinnitusemomendid ja põikjõud	55
B.2 I-talad	55
C Valemeid	59
C.1 Jätkuvtala	59
D Programmi <i>Octave</i> kasutamine	61
D.1 Programmist <i>Octave</i>	61
D.2 Võrrandisüsteemi lahendamine <i>Octave</i> 'ga	62
D.3 Paindemomendi arvutamine <i>Octave</i> 'ga	63
E Programmid	73
E.1 Eesarvude leidmine <i>Octave</i> 'ga	73
F GNU Üldine Avalik Litsents	87
Aineregister	95

Joonised

2.1	Mitmesildeline tala	16
2.2	Mitmesildeline tala II	19
2.3	Mitmesildelise tala liikuv koormus	19
2.4	Kolme liigendiga kaar	22
2.5	Kolme liigendiga kaare koormused	22
2.6	Kolme liigendiga kaar II	24
2.7	Kolme liigendiga raam	25
2.8	Talasõrestik	27
2.9	Talasõrestik II	29
2.10	Arvutusskeemid siirde arvutamiseks	31
3.1	Raami arvutus jõumeetodil	34
3.2	Raami arvutus jõumeetodil II	37
3.3	Jätkuvtala	38
3.4	Jätkuvtala II	39
3.5	Raami arvutus deformatsioonimeetodil	41
3.6	Raami kriitiline koormus	44
A.1	Toereaktsioonide mõjujooned	45
A.2	Momendi ja põikjõu mõjujooned	46
A.3	Mõjujoonte kasutamine	46
A.4	Põikjõu märgi määramine	47
A.5	Põikjõud horisontaalses vardas	47
A.6	Põikjõud kaldu vardas	48
A.7	Kaare telgjoon	49
A.8	Eesarvud A, B, C A+B survel	52
A.9	Eesarvude arvutamine <i>Octave</i> 'ga.	53
C.1	Jätkuvtala tähised	59
D.1	Võrrandisüsteemi lahendamine <i>Octave</i> 'ga	62
D.2	Raam ja põhiskeem	63
D.3	Põhiskeemi epüürid	63
D.4	Paindemomendi epüür <i>Octave</i> 'ga	67

Tabelid

2.1	Mõõtmed ja koormused	16
2.2	Lõike k asukoht	17
2.3	Tala mõõtmed	18
2.4	Lõiked k ja i	20
2.5	Kaare mõõtmed	23
2.6	Kaare II mõõtmed	24
2.7	Kaare II koormus	24
2.8	Raami mõõtmed	25
2.9	Raami koormused	26
2.10	Talasõrestiku koormused	26
2.11	Talasõrestiku mõõtmed	27
2.12	Talasõrestiku alaline ja jaotatud koormus	28
2.13	Talasõrestiku mõõtmed ja sõlmed i ja k	29
2.14	Raami mõõtmed siirde arvutamiseks	30
3.1	Staatikaga määramatu raami mõõtmed	35
3.2	Staatikaga määramatu raami II mõõtmed	36
3.3	Jätkuvtala mõõtmed	38
3.4	Jätkuvtala koormused	38
3.5	Jätkuvtala II mõõtmed	40
3.6	Jätkuvtala II koormused	40
3.7	Raami mõõtmed ja koormused. Deformatsioonimeetod	42
3.8	Raami mõõtmed ja koormused. Kriitiline koormus	43
B.1	Kinnitusmomendid ja põikjõud	56
C.1	Valemid vabaliikmete arvutamiseks	60

Peatükk 1

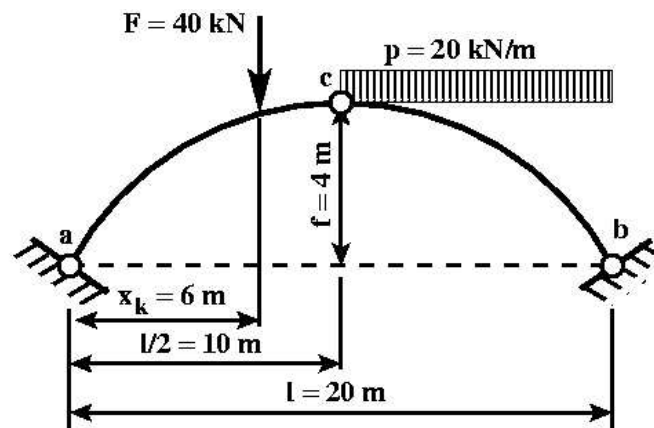
Sissejuhatus

1.1 Tööde juhend

- Ülesannete loend, mida üliõpilane lahendada peab, on toodud tööprogrammis.
- Ülesande variant võetakse üliõpilase matriklinumbri kahe viimase numbriga põhjal. Neid tähistatakse järgmiselt:
viimane number A, eelviimane number B.
Näiteks matriklinumbri 980375 puhul $A = 5$ ja $B = 7$.
Kui ülesande juures on 10 skeemi, siis tuleb skeem võtta numbriga A järgi. Jooniste ja tabelite numbrid vastavad ülesande numbritele.
- Ülesanded esitada valge paberilehe (formaad A4) ühel küljel. Ruudulist ja millimeetripaberit pole lubatud kasutada. Lehe vasakule servale jätta vähemalt 30 mm laiune serv köitmiseks.
- Punast värvi pole üliõpilastel töö vormistamisel lubatud kasutada.
- Ülesande lahendamist alustada uuel leheküljelt. Lehekülje algul esitada töö nimetus, andmed ja konstruktsiooni skeem koos mõõtmetega. Skeemil näidata tingimata üksikute tähistega kõrval ka nende konkreetset arvvaartused (näiteks $F = 40 \text{ kN}$, $l = 20 \text{ m}$).
- Kõik joonised teha mõõtkavas.
- Epüüridel ja mõjujoontel märkida nimetused, märgid, mõõtühikud ja iseloomustavad ordinaadid.
- Vastused esitada koos mõõtühikuga.
- Lahenduskäiku täiendada lühikeste selgitustega ja illustreerivate skeemidega.
- Parandused esitada koos tööga eri lehel. Õppejõu kontrollitud teksti on paranduste tegemine keelatud.

Töö kaane näidis on lk [12](#).

TTÜ mehaanikainstituut
ehitusmehaanika õppetool



Üliõpilane
Kood
Arvutustöö nr
Ülesanne nr
Esitamise kuupäev

Arvestatud

Parandada

2003/2004 õa

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL Mehaanikainstituut		
Õppeaine Ehitusmehaanika		
Semester ja õa		
Töö teema		Töö nr
		Ülesande nr
Rühm	Nimi	Mtr
Esitada		Juhendaja
Esitatud		Arvestatud
Parandada		

Peatükk 2

Staatikaga määratavad süsteemid

2.1 Staatikaga määratav mitmesildeline tala

Ülesanne 2.1 Koostada paindemomendi ja põikjõu epüürid. Koostada toereaktsiooni R_r , paindemomendi M_k ja M_r ning põikjõudude Q_k ja Q_r mõjujooned. Mõjujoonte abil arvutada paindemoment M_k ja Q_k .

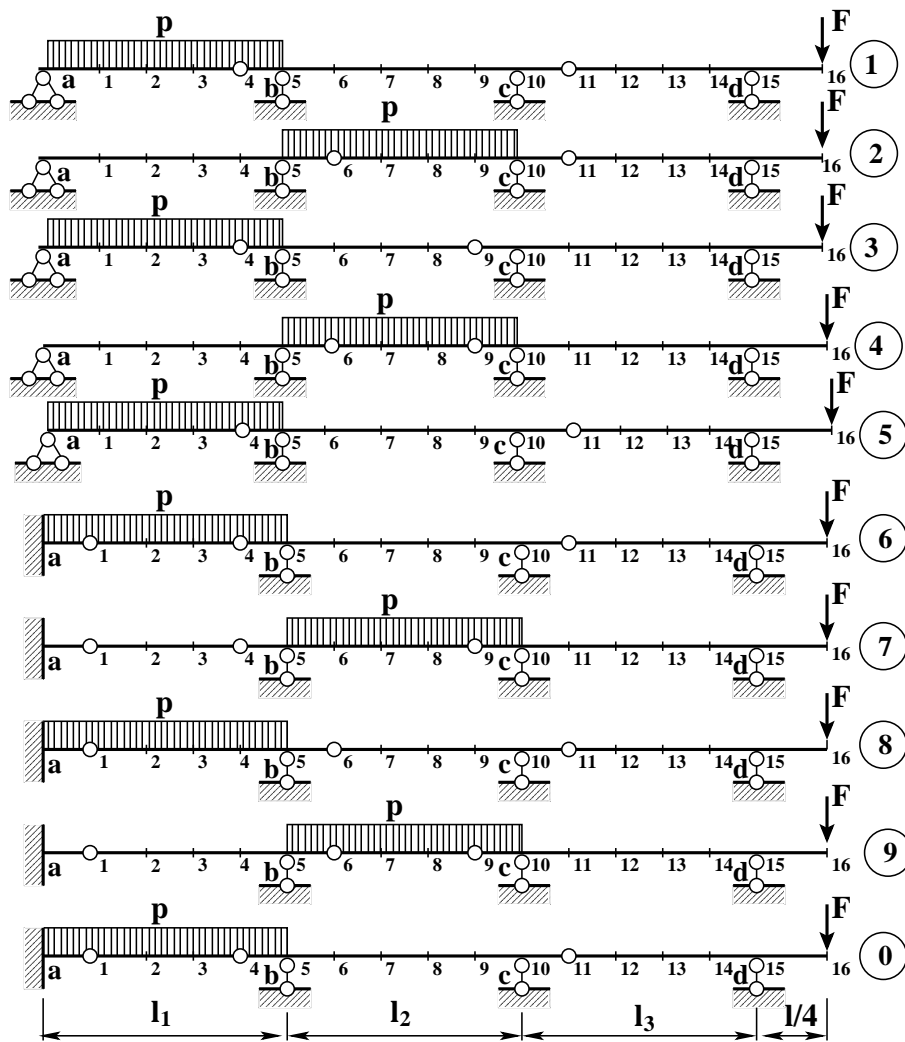
Andmed. Talade skeemid on joonisel 2.1. Skeem võtta õpinguraamatu viimase numbri A järgi. Lisaks joonisel 2.1 näidatud ühtlaselt jaotatud koormusele $p = 16 \frac{kN}{m}$ ja konsooli otsal mõjuvale jõule $F = 20 kN$ on tala koormatud lõikes k koondatud jõuga F_k . Põikjõu Q_r mõjujoon koostada ühe lõike jaoks kas vasakul või paremal pool tuge r (näidatud joonisel 2.1).

Tala silded on võrdsete pikkustega ($l_1 = l_2 = l_3 = l$). Iga sille on jaotatud viieks võrdseks osaks. Konsooli pikkus on üks neljandik sillet ($l/4$).

Arvandmed võtta tabelitest 2.1 ja 2.2.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) tala skeem mõõtmete ja koormustega;
- 3) põhi- ja lisaosade töö skeem;
- 4) lisa- ja põhiosade skeemid koos koormusega, iga osa eraldi;
- 5) toereaktsioonide arvutus ja kontroll;
- 6) sisejõudude epüüride joonestamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 7) paindemomendi ja põikjõu epüürid;
- 8) toereaktsiooni R_r , paindemomentide M_k ja M_r ning põikjõudude Q_k ja Q_r mõjujooned;
- 9) toereaktsiooni R_r ja sisejõudude M_k , M_r , Q_k ja Q_r arvutus mõjujoonte abil ning võrdlus otseselt leitud suurustega.



Joonis 2.1. Mitmesildeline tala

Tabel 2.1. Mõõtmed ja koormused

A (skeem)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1 [m]	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6
F_k [kN]	80	80	80	60	60	60	60	80	80	80
r	b	b	c	c	c	b	b	c	b	c

Tabel 2.2. Lõike k asukoht

$B_{\downarrow} \setminus A_{\rightarrow}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
k	1	7	2	12	2	9	6	11	2	2	8
	2	8	3	13	3	6	7	12	3	4	9
	3	9	4	14	4	7	8	13	4	11	6
	4	6	1	6	1	8	9	6	2	12	7
	5	7	2	12	2	9	6	8	3	13	8
	6	8	3	13	3	6	7	11	4	2	9
	7	9	4	14	4	7	8	12	2	4	6
	8	6	1	6	1	8	9	13	3	11	7
	9	7	2	12	2	9	6	6	4	12	8
	0	8	3	13	3	6	7	8	2	13	9

Ülesanne 2.2 Koostada paindemomendi ja põikjõu epüür alalisest koormusest. Koostada toereaktsiooni R_r , paindemomentide M_r ja M_k ning põikjõudude Q_r ja Q_k mõjujooned. Arvutada mõjujoonte abil toereaktsioon R_r , paindemomendid M_r ja M_k ning põikjõud Q_r ja Q_k alalisest koormusest. Leida koostatud mõjujoonte abil suurimad toereaktsioonid ja sisejõud liikuvast koormusest.

Andmed. Tala skeemid on joonisel 2.2. Skeem võtta matrikli viimase numbri A järgi. Alaliseks koormuseks on konstruktsiooni omakaal intensiivsusega $g = 16 \text{ kN/m}$ ja kolm koondatud jõudu. $F_1 = 60 \text{ kN}$ mõjub lõikes k , $F_2 = 60 \text{ kN}$ mõjub lõikes i ja $F_3 = 40 \text{ kN}$ mõjub toe r naaberlõikes asuva liigendi kohal.

Joonisel 2.2 on tala iga sille jaotatud viieks võrdseks osaks.

Matrikli eelviimase numbri B alusel võtta tabelist 2.3 tala sillete pikkused ja toereaktsiooni R_r indeks r .

Matrikli kahe viimase numbri B ja A järgi võtta tabelist 2.4 lõiked k ja i .

1. Liikuvaks koormuseks on

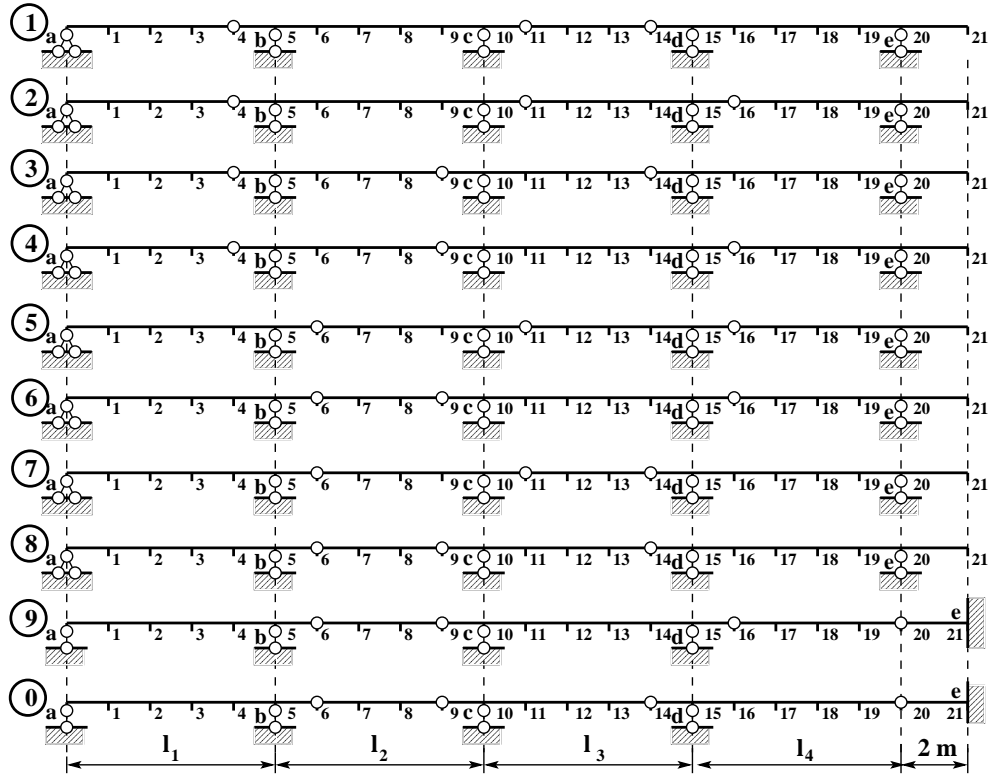
- 1) EAE erialal kaks sildkraanat (joonis 2.3 a); kraana rataste vahekaugus on 5 m, suurim surve $F_1 = F_2 = 240 \text{ kN}$ ja kahe kraana vähim rataste vahekaugus on 2 m;
- 2) EAT erialal autokolonn, milles autode asend kolonnis vastab skeemile joonisel 2.3 b ja c; joonisel 2.3 b on autokolonni liikumissuund vasakult paremale ja joonisel 2.3 c paremalt vasakule; autode esi- ja tagarataste telgede vahekaugus on 45 m, kahe auto vähim vahekaugus on 85 m.

Esitada

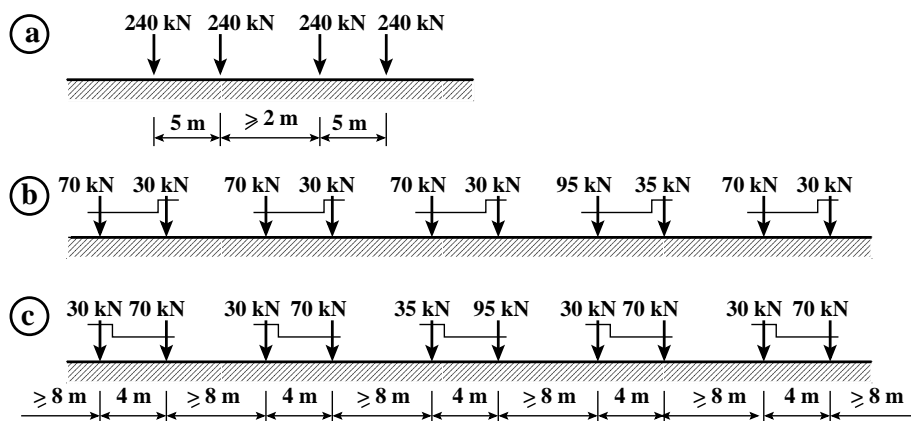
- 1) ülesande tekst;
- 2) tala skeem mõõtmete ja alalise koormusega;
- 3) tala põhi- ja lisaosade töö skeem;
- 4) lisa- ja põhiosade skeemid eraldi iga osa jaoks koos alalise koormusega;
- 5) toereaktsioonide arvutus ja kontroll;
- 6) sisejõudude epüüride joonestamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 7) sisejõudude epüürid alalise koormuse jaoks;
- 8) toereaktsiooni R_r , paindemomendi M_r ja M_k ning põikjõudude Q_r^{vas} , Q_r^{par} ja Q_k mõjujooned;
- 9) toereaktsiooni R_r , paindemomendi M_r ja M_k ning põikjõudude Q_r ja Q_k arvutus alalisest koormusest mõjujoonte abil ning võrdlus otseselt leitud sisejõududega;
- 10) suurimate toereaktsioonide ja sisejõudude arvutus mõjujoonte abil liikuvast koormusest. Iga mõjujoone kohal näidata kaks liikuva koormuse asetust: üks, mis põhjustab suurima, ja teine, mis põhjustab vähima toereaktsiooni või sisejõu.

Tabel 2.3. Tala mõõtmed

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1 [m]$	10	16	18	10	15	18	12	16	15	10
$l_2 [m]$	15	15	12	12	12	16	16	12	16	10
$l_3 [m]$	12	12	16	15	16	12	12	18	12	12
$l_4 [m]$	12	16	12	12	12	12	10	16	12	16
r	b	c	d	b	c	d	b	c	d	c



Joonis 2.2. Mitmesildeline tala II



Joonis 2.3. Mitmesildelise tala liikuv koormus

Tabel 2.4. Lõiked k ja i

$B_{\downarrow} \setminus A_{\rightarrow}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
k	1	6	12	16	11	7	11	7	16	11	18
	2	16	14	11	6	12	3	1	17	2	16
	3	7	6	6	8	2	12	2	11	12	13
	4	8	12	17	12	9	13	9	18	13	18
	5	17	14	13	6	14	2	3	19	3	16
	6	9	8	8	8	3	14	4	11	14	11
	7	6	12	18	13	7	12	7	16	12	18
	8	18	14	11	6	12	3	1	17	2	16
	9	8	7	6	12	4	13	2	11	13	13
	0	19	12	13	8	14	2	3	18	3	18
i	1	12	7	11	17	12	17	16	11	17	11
	2	1	6	16	1	2	7	17	13	18	12
	3	3	12	12	11	13	8	7	17	7	17
	4	13	9	13	18	14	18	18	12	17	13
	5	2	8	17	2	3	7	16	11	18	12
	6	1	13	11	13	12	8	8	18	8	17
	7	12	7	12	19	13	19	17	13	17	11
	8	3	8	18	3	2	7	18	12	18	12
	9	1	14	17	7	14	8	7	19	7	18
	0	2	7	19	2	3	7	17	13	17	13

2.2 Kolme liigendiga kaar

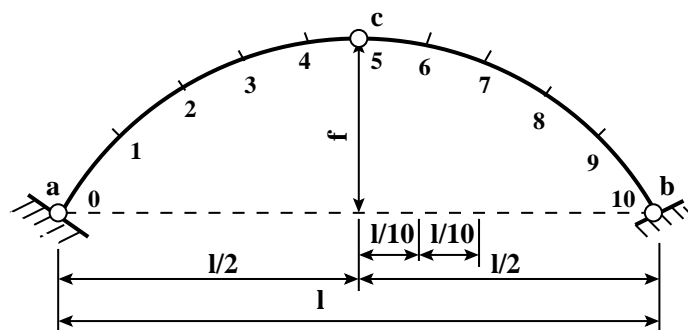
Ülesanne 2.3 Koostada sisejõudude epüürid ja mõjujooned.

Andmed. Kolme liigendiga kaar (joonis 2.4) on koormatud lõigetes i ja k kahe koondatud jõuga $F_i = F_k = 50 \text{ kN}$ ning ühtlaselt jaotatud koormusega $p = 20 \text{ kN/m}$. Koondatud jõudude asukohad (lõiked i ja k), samuti ühtlaselt jaotatud koormuse mõjupiirkond võtta matrikli numbriga A järgi jooniselt 2.5. Kaare sille on jaotatud kümneks võrdseks osaks ja lõigete numbrid on märgitud kaarel (joonis 2.5). Mõjujooned koostada lõikele k . Kaare telgjoon on ruutparabool, kui A on 1, 2, 3, 4 või 5, ja ringi kaar, kui A on 6, 7, 8, 9 või 0. Kaare telgjoone võrrandid on toodud lisas A.6 lk 49. Kaare ristlõige on ristkülik, mille laius on b ja kõrgus h . Kaare sille l ja kõrgus f ning ristlõike mõõtmed b ja h võtta matrikli numbriga B järgi tabelist 2.5.

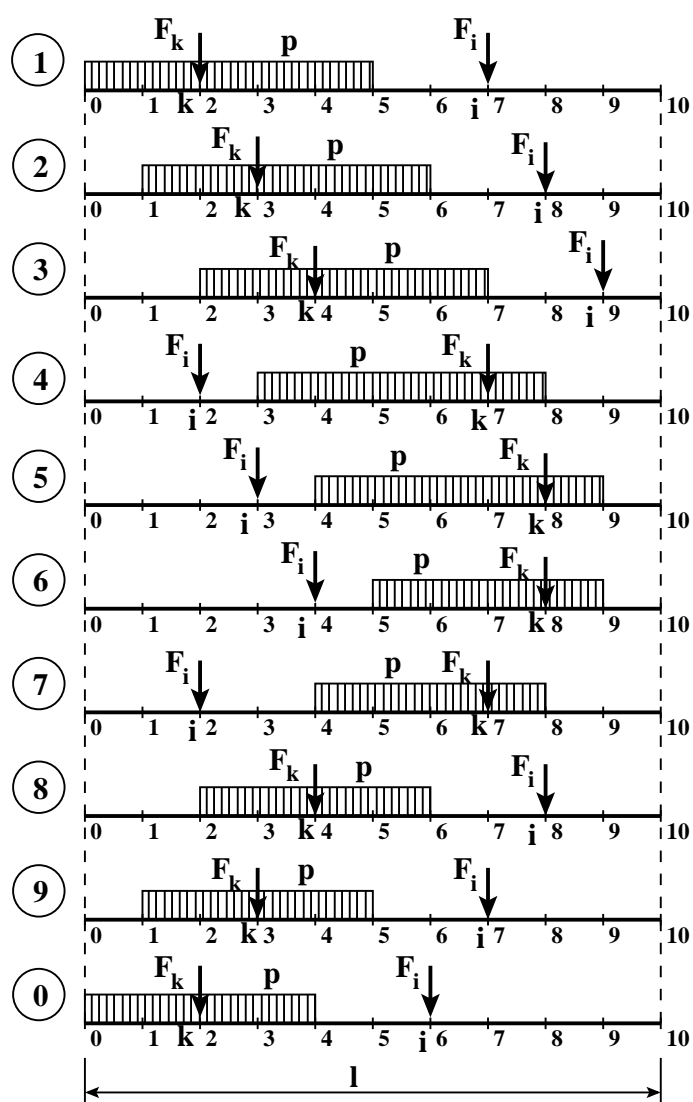
Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) kolme liigendiga kaare joonis koos mõõtmete ja koormusega;
- 3) toereaktsioonide arvutus ja kontroll;
- 4) kaare telgjoone võrrandid;
- 5) valemid kaare telje ja horisontaali vahelise nurga siinuse ja koosinuse arvutamiseks;
- 6) sisejõudude M , Q ja N arvutus (esitada tabelina);
- 7) lihttala ja kaare sisejõudude epüürid;
- 8) horisontaalse toereaktsiooni H mõjujoon;
- 9) lõike k paindemomendi M_k , põikjõu Q_k ja pikijõu N_k mõjujooned ning mõjujoonte koostamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 10) lõike k sisejõudude arvutus mõjujoontega;
- 11) ristlõike k äärmistes kiududes esinevate pingete mõjujooned ja nende koostamiseks vajalike ordinaatide arvutus. Äärmiste kiudude pingete arvutamisel valemiga (2.1) võtta surve positiivseks;
- 12) ristlõike k äärmiste kiudude pingete arvutus valemiga (2.1) ja mõjujoontega;
- 13) survejoone ordinaatide arvutus ja survejoone joonis. Samal joonisel esitada ka kaare telgjoon.

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} \quad (2.1)$$



Joonis 2.4. Kolme liigendiga kaar



Joonis 2.5. Kolme liigendiga kaare koormused

Tabel 2.5. Kaare mõõtmed

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	15	18	24	30	36	16	20	24	25	32
f [m]	3.0	3.6	5.0	6.0	6.0	3.2	4.0	4.0	5.0	6.0
b [cm]	30	40	50	60	80	30	40	45	50	75
h [cm]	60	80	100	120	160	60	80	90	100	150

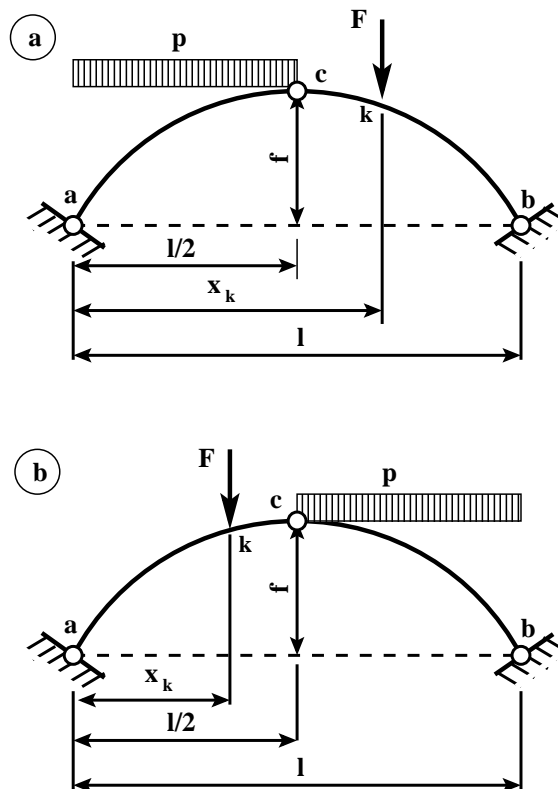
Ülesanne 2.4 Koostada sisejõudude epüürid.

Andmed. Kolme liigendiga kaar (joonis 2.6) on koormatud poole silde ulatuses ühtlaselt jaotatud koormusega p ja lõikes k koondatud jõuga F (joonis 2.6). Kaare sille on l ja kõrgus f . Koormus võtta joonise 2.6 a alusel, kui A on 1, 3, 5, 7 või 9, ja joonis 2.6 b järgi, kui A on 0, 2, 4, 6 või 8. Arvulised andmed võtta tabelitest 2.6 ja 2.7 vastavalt matrikli numbritele A ja B . Kaare telgjoone võrrandid on toodud lisas A.6 lk 49.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) kolme liigendiga kaare joonis koos mõõtmete ja koormusega;
- 3) toereaktsioonide arvutus ja kontroll;
- 4) kaare telgjoone võrrand;
- 5) valemid kaare telje ja horisontaali vahelise nurga siinuse ja koosinuse arvutamiseks;
- 6) sisejõudude M , Q ja N arvutus (esitada tabelina);
- 7) lihttala ja kaare sisejõudude epüürid;
- 8) survejoone ordinaatide arvutus ja survejoone joonis. Samal joonisel esitada ka kaare telgjoon.

Märkus. Sisejõudude epüüride ordinaatide arvutamisel jaotada kaare sille kümneks võrdseks osaks. Jõu F mõjumisel neljandiku ($x_k/l = 0.25$) või kolme neljandiku ($x_k/l = 0.75$) silde kohal arvutada sisejõud ka selles lõikes.



Joonis 2.6. Kolme liigendiga kaar II

Tabel 2.6. Kaare II mõõtmed

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Kaare telg	Ruutparabool					Ringi kaar				
l [m]	20	24	25	30	32	10	12	15	16	18
F_k [kN]	60	80	80	100	100	40	40	50	50	60
$\xi_k = x_k/l$	0.6	0.2	0.7	0.25	0.75	0.3	0.8	0.4	0.9	0.1

Tabel 2.7. Kaare II koormus

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p [kN/m]	15	20	25	30	15	20	25	15	20	25
f/l	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.25

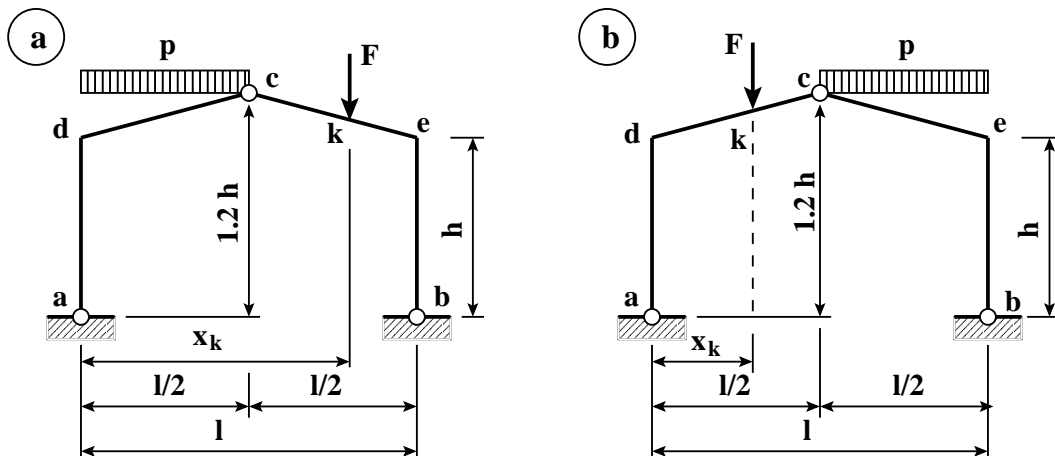
2.3 Kolme liigendiga raam

Ülesanne 2.5 Koostada raami sisejõudude M , N ja Q epüürid.

Andmed. Raam on koormatud poole silde ulatuses ühtlaselt jaotatud koormusega p ja lõikes k koondatud jõuga F . Posti kõrgus on h , raami sille l ja kõrgus $1.2h$. Koormus võtta vastavalt joonisele 2.7 a, kui A on 1, 3, 5, 7 või 9, ja vastavalt joonisele 2.7 b, kui A on 0, 2, 4, 6 või 8. Arvulised andmed võtta tabelitest 2.8 ja 2.9.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) raami joonis mõõtmete ja koormustega;
- 3) toereaktsioonide arvutus ja kontroll;
- 4) sisejõudude M , N ja Q epüüride joonestamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 5) sisejõudude M , N ja Q epüürid.



Joonis 2.7. Kolme liigendiga raam

Tabel 2.8. Raami mõõtmed

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	8	10	12	15	8	10	12	15	10	12
h [m]	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0
$\xi_k = x_k/l$	0.6	0.2	0.7	0.25	0.75	0.3	0.8	0.4	0.9	0.1

Tabel 2.9. Raami koormused

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F [kN]$	60	50	40	80	60	50	40	60	50	40
$p [kN/m]$	12	20	24	12	16	20	24	12	16	24

2.4 Talasõrestik

Ülesanne 2.6 Arvutada pikijõud sõrestiku paneeli k varrastes (ülemine vöö, alumine vöö, diagonaal, vasak- ja parempoolne post).

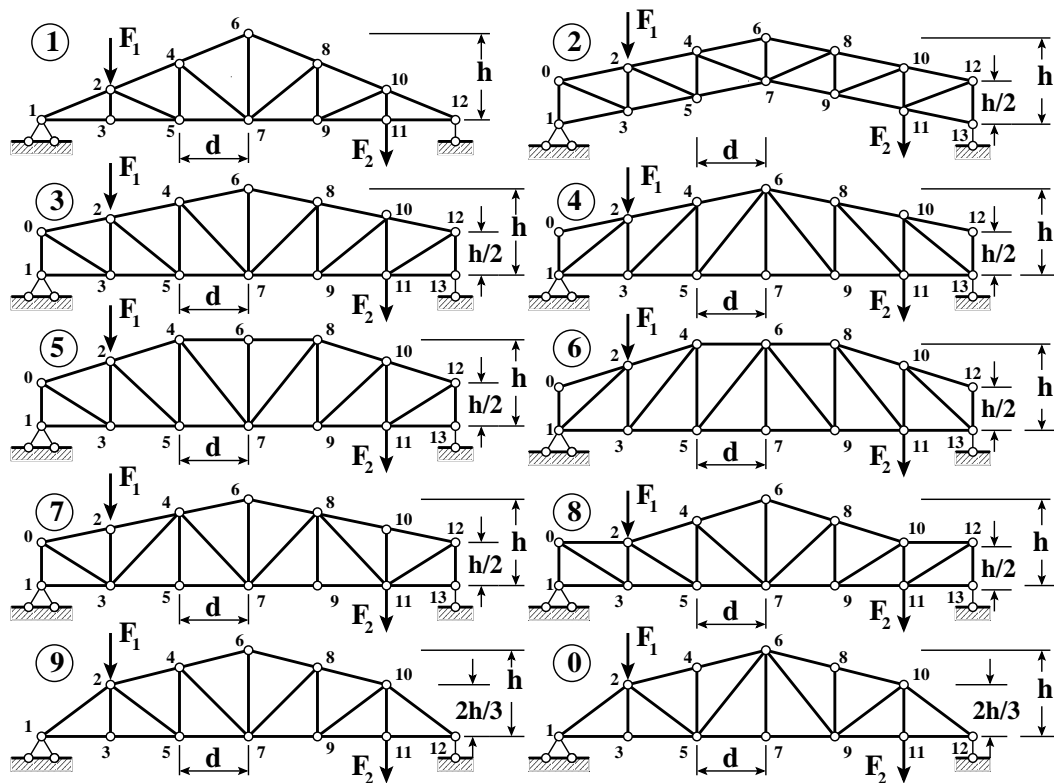
Andmed. Sõrestiku kõrgus on h , paneeli pikkus d ja sille $l = 6d$. Sõrestik on koormatud kolme koondatud jõuga. Lisaks joonisel 2.8 näidatud jõududele F_1 ja F_2 mõjub veel jõud F_3 sõlmes i . Jõudude suurused võtta tabelist 2.10. Paneeli pikkus, sõrestiku kõrgus, jõu F_3 rakenduskoht (sõlm i) ja paneeli k järjekorranumber (lugedes vasakult paremale) võtta tabelist 2.11.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) sõrestiku skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) toereaktsioonide arvutus;
- 4) paneeli k varraste (ülemine vöö, alumine vöö, diagonaal, vasak- ja parempoolne post) pikijõudude analüütiline arvutus;
- 5) paneeli number k varraste pikijõudude mõjujooned;
- 6) pikijõudude arvutus mõjujoonte abil ja nende kõrvutamise otseselt leitud suurustega.

Tabel 2.10. Talasõrestiku koormused

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F_1 = F_3 [kN]$	42	45	48	51	54	57	60	63	66	36
$F_2 [kN]$	90	90	90	90	90	60	60	60	60	60



Joonis 2.8. Talasõrestik

Tabel 2.11. Talasõrestiku mõõtmed

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d [m]	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
h [m]	3.0	3.3	3.6	4.2	4.5	2.7	3.0	3.3	3.6	4.2
i	4	6	8	4	6	8	4	6	8	6
k	2	3	4	5	2	3	4	5	2	4

Ülesanne 2.7 Arvutada pikijõud sõrestiku paneeli k varrastes (ülemine vöö, alumine vöö, diagonaal, vasak- ja parempoolne post).

Andmed. Sõrestiku (joonis 2.9) kõrgus on h , paneeli pikkus d ja sille $l = 8d$. Sõrestike vahekaugus on a . Alaliseks koormuseks on ehitise omakaal, mis kantakse sõlmkoormusena sõrestike ülemise vöö sõlmedesse. Alalise koormuse intensiivsus g on antud konstruktsiooni horisontaalprojektsioonile (tabel 2.12). Ajutine koormus p võib esineda konstruktsioonil suvalises kohas ja kantakse sõlmkoormusena samuti ülemise vöö sõlmedesse. Lisaks jaotatud ajutisele koormusele p (tabel 2.12) võib mõjuda ajutise koormusena sõrestiku alumise vöö sõlmes i koondatud jõud $F = 100 \text{ kN}$.

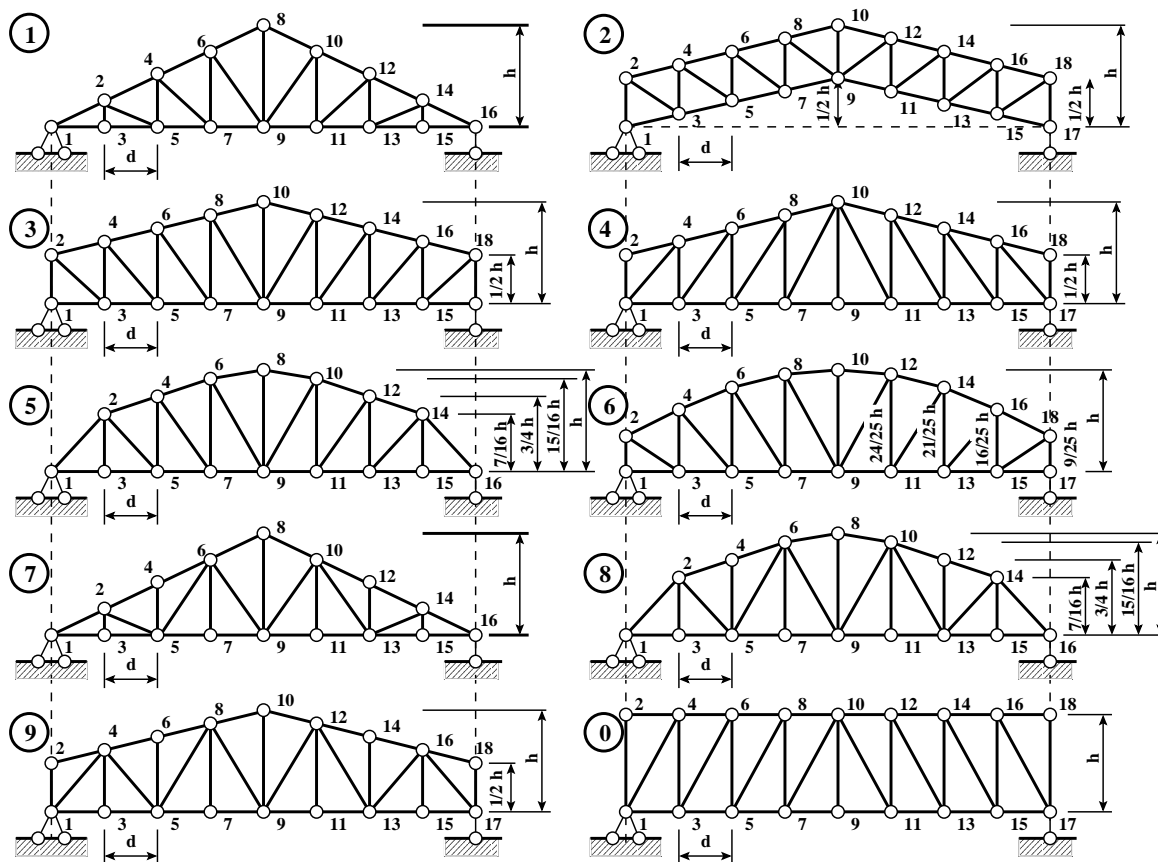
Sisejõud arvutada paneeli k kõigis viies vardas. Paneeli k asukoha leidmiseks lugeda vasakult paremale. Geomeetilised andmed võtta tabelist 2.12.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) sõrestiku skeem mõõtmete ja alalise koormusega;
- 3) sõlmkoormuste arvutus;
- 4) pikijõudude arvutus alalisest koormusest paneeli k kõigis viies vardas;
- 5) paneeli k varraste pikijõudude mõjujooned, millel märkida sisejõudude arvutamiseks vajalikud ordinaadid;
- 6) alalisest koormusest põhjustatud pikijõudude arvutus mõjujoonte abil;
- 7) ajutisest koormusest põhjustatud suurimate ja vähimate pikijõudude arvutus mõjujoonte abil;
- 8) paneeli k varraste pikijõudude tabel, mis sisaldab
 - (a) otseselt leitud pikijõude alalisest koormusest,
 - (b) mõjujoontega leitud pikijõude alalisest koormusest, suurimaid pikijõude ajutisest koormusest ja vähimaid pikijõude ajutisest koormusest,
 - (c) alalisest ja ajutisest koormusest põhjustatud suurimaid ja vähimaid pikijõude.

Tabel 2.12. Talasõrestiku alaline ja jaotatud koormus

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$g \text{ [kPa]}$	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
$p \text{ [kPa]}$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



Joonis 2.9. Talasõrestik II

Tabel 2.13. Talasõrestiku mõõtmed ja sõlmed i ja k

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d [m]	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
h [m]	2.0	2.6	3.5	4.0	5.0	2.4	3.0	4.0	5.0	5.5
a [m]	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
i	7	5	11	3	7	5	11	13	7	11
k	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6

2.5 Siirete arvutus

Ülesanne 2.8 Leida raami 2.10 löike k vertikaalsiire ja pööre

- 1) antud koormusest;
- 2) temperatuuri tõusust 15°C väljaspool raami ja 25°C raami sisemisel poolel;
- 3) toe b vajumisest 2 cm vertikaalsihis.

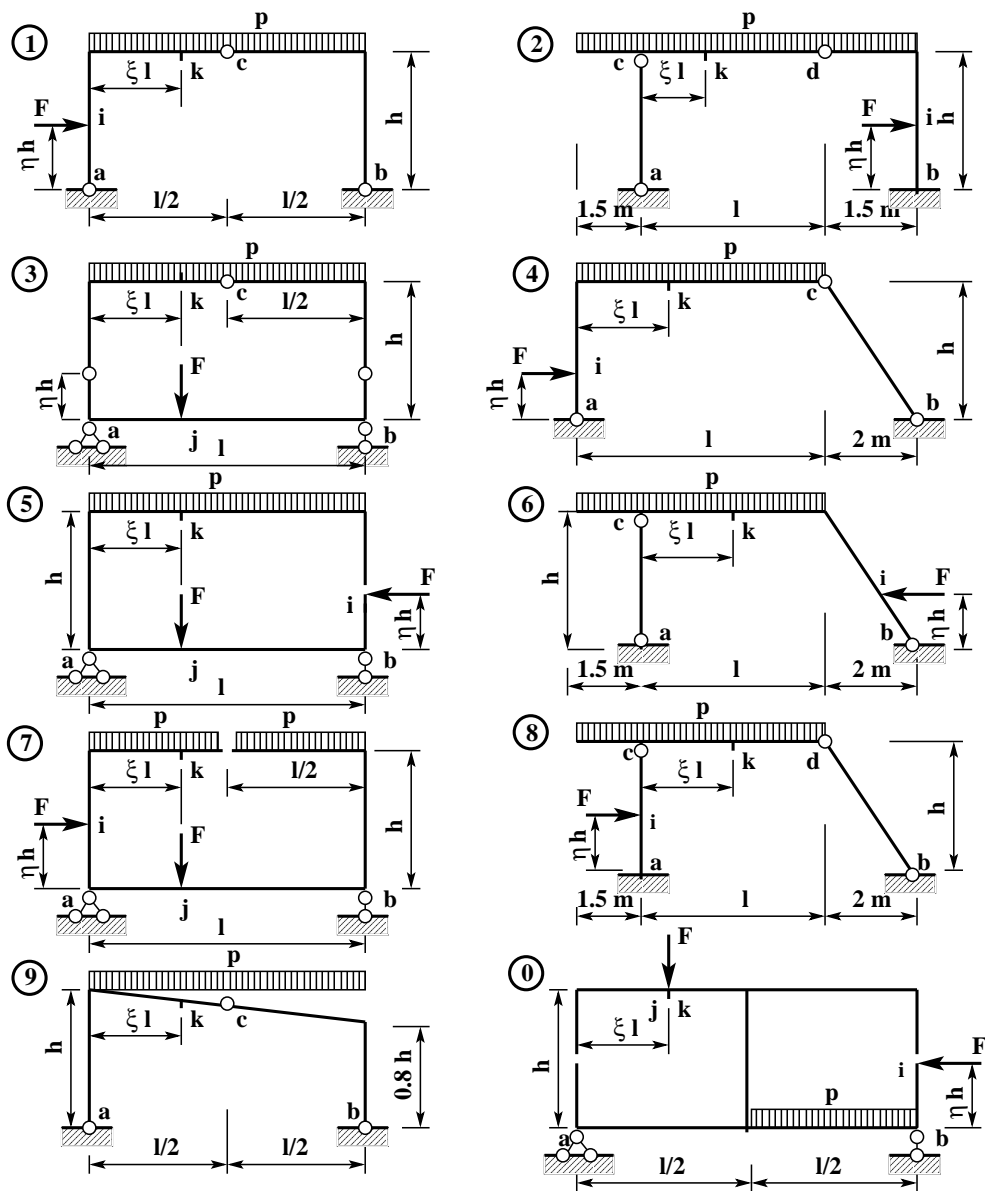
Andmed. Raami skeemid on joonisel 2.10. Raamile mõjub üks või kaks jõudu $F = 30 \text{ kN}$, postil lõikes i ja riivil lõikes j . Skeemil 9 ei ole koondatud jõudu rakendatud. Ühtlaselt jaotatud koormuse intensiivsus $p = 20 \text{ kN/m}$. Teised andmed võtta tabelist 2.14. Raami vardad on võrdse jäikusega $EI = \text{const}$. Koormusest põhjustatud siirete leidmisel arvestada ainult paindemomendi mõju. Temperatuuri muutusest tingitud siirded arvutada kahes osas – vastavalt ühtlasele ja mitteühtlasele temperatuuri muutusele.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) koormusest põhjustatud paindemomendi epüür, millel on märgitud kõik siirete leidmisel vajalikud ordinaadid;
- 3) lõikes k mõjuvast ühikjõust põhjustatud paindemomendi ja pikijõu epüürid siirete arvutamiseks vajalike ordinaatidega;
- 4) lõikes k mõjuvast ühikmomendist põhjustatud paindemomendi ja pikijõu epüürid siirete arvutamiseks vajalike ordinaatidega;
- 5) profiili valik. I -tala profiil valida koormusest põhjustatud suurima paindemomendi järgi, võttes lubatavaks pingeks $\sigma = 0.16 \text{ GPa}$;
- 6) koormusest põhjustatud vertikaalsiirde ja pöörde arvutus;
- 7) temperatuuri muutusest põhjustatud vertikaalsiirde ja pöörde arvutus;
- 8) toe b vajumisest tingitud raami lõike k vertikaalsiirde ja pöörde arvutus.

Tabel 2.14. Raami mõõtmed siirde arvutamiseks

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	6	8	6	8	6	8	6	8	6	8
h [m]	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
ξ	0.2	1/4	0.3	0.7	0.8	0.2	1/4	0.3	0.7	0.8
η	0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.6	0.6



Joonis 2.10. Arvutusskeemid siirde arvutamiseks

Peatükk 3

Staatikaga määramatud süsteemid

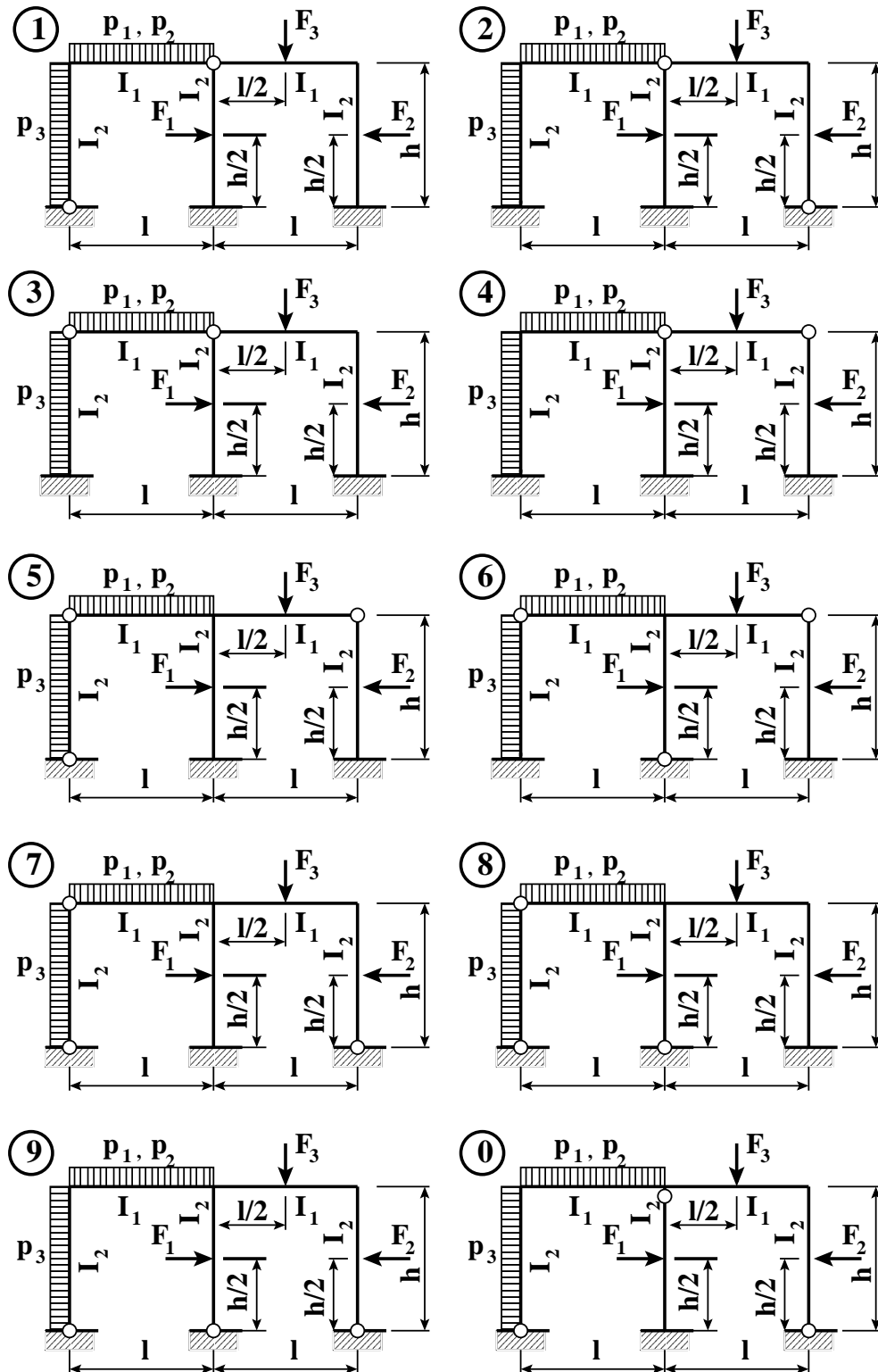
3.1 Raami arvutus jõumeetodil

Ülesanne 3.1 Koostada sisejõudude epüürid.

Andmed võtta tabelist 3.1 ja skeem jooniselt 3.1. Varraste ristlõigete inertsimomentide suhe $I_1/I_2 = 2$.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) raami skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) raami staatikaga määramatuse astme leidmine;
- 4) staatikaga määratav põhiskeem;
- 5) paindemomentide epüürid koormusest ja ühiklisatundmatutest;
- 6) jõumeetodi kanooniline võrrandisüsteem (üldkujul);
- 7) kanoonilise võrrandisüsteemi tundmatute kordajate ja vabaliikme arvutus ja nende kontroll;
- 8) jõumeetodi kanooniline võrrandisüsteem (tundmatute kordajad ja vabaliikmed arvu-
dena), selle lahend ja kontroll;
- 9) sisjõudude M , Q ja N epüürid ning nende koostamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 10) lahendi staatikaline ja kinemaatikaline kontroll.



Joonis 3.1. Raami arvutus jõumeetodil

Tabel 3.1. Staatikaga määratud raami mõõtmed

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	6	8	10	6	8	10	6	8	10	8
h [m]	4	5	6	3	4	5	4	5	6	4
p_1 [kN/m]	8	0	0	12	0	0	8	0	0	12
p_2 [kN/m]	0	12	0	0	16	0	0	12	0	0
p_3 [kN/m]	0	0	16	0	0	15	0	0	16	0
F_1 [kN]	10	0	0	20	0	0	10	0	0	20
F_2 [kN]	0	20	0	0	30	0	0	20	0	0
F_3 [kN]	0	0	40	0	0	50	0	0	40	0

Ülesanne 3.2 Koostada raami (joonis 3.2) sisejõudude M , Q ja N epüürid ning arvutada jõu F rakenduspunkti siirde komponent jõu sihis.

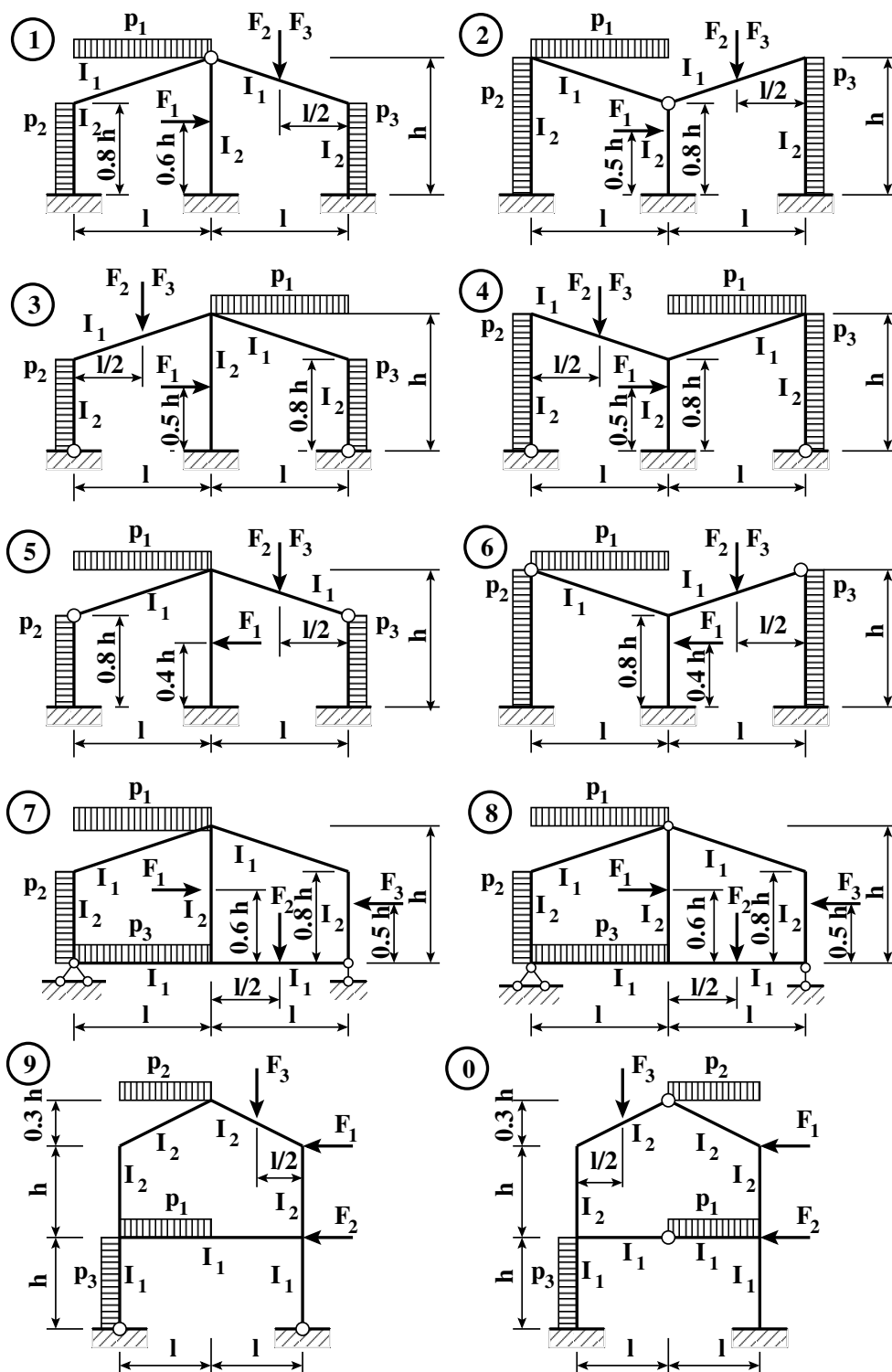
Andmed võtta tabelist 3.2 ja raami skeem jooniselt 3.2. Siirete leidmisel arvestada ainult paindemomentide mõju.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) raami skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) raami staatikaga määramatuse astme leidmine;
- 4) staatikaga määratav põhiskeem;
- 5) paindemomentide epüürid koormusest ja ühiklisatundmatutest;
- 6) jõumeetodi kanooniline võrrandisüsteem (üldkujul);
- 7) kanoonilise võrrandisüsteemi tundmatute kordajate ja vabaliikmete arvutus ning nende kontroll;
- 8) jõumeetodi kanooniline võrrandisüsteem (tundmatute kordajad ja vabaliikmed arvu- dena), selle lahend ja kontroll;
- 9) sisejõudude M , Q ja N epüürid ning nende koostamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 10) lahendi staatikaline ja kinemaatikaline kontroll;
- 11) jõu F rakenduspunkti siirde komponendi arvutus jõu sihis.

Tabel 3.2. Staatikaga määramatu raami II mõõtmed

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	5	6	8	9	10	5	6	8	9	10
h [m]	4	5	6	7	8	4	5	6	7	10
I_1/I_2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
p_1 [kN/m]	8	0	0	12	0	0	8	0	0	12
p_2 [kN/m]	0	12	0	0	15	0	0	12	0	0
p_2 [kN/m]	0	0	16	0	0	16	0	0	16	0
F_1 [kN]	10	0	0	15	0	0	20	0	0	15
F_2 [kN]	0	15	0	0	16	0	0	15	0	0
F_3 [kN]	0	0	16	0	0	20	0	0	16	0



Joonis 3.2. Raami arvutus jõumeetodil II

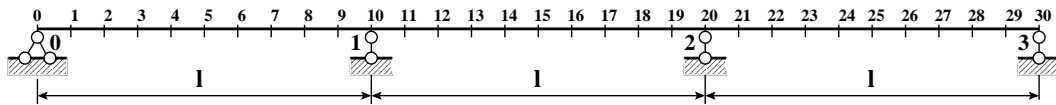
3.2 Jätkuvtala

Ülesanne 3.3 Koostada jätkuvtala (joonis 3.3) paindemomendi ja põikjõu epüürid.

Andmed. Tala jäikus on konstantne. Tala silded võtta tabelist 3.3. Tala omakaal g ja ajutise koormuse – koondatud jõudude $F_a = 60 \text{ kN}$, $F_b = 50 \text{ kN}$ ning $F_c = 40 \text{ kN}$ asukohad (lõiked a , b ja c) on antud tabelis 3.4. Ühel sildel asuvad jõud F_a ja F_b mõjuvad samal ajal.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) tala skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) staatikaga määramatuse aste;
- 4) omakaalust põhjustatud toemomentide arvutus kolme momendi võrrandiga;
- 5) sisjõudude epüürid omakaalust;
- 6) sisjõudude epüürid sillete kaupa mõjuvast ajutisest koormusest. Toemomendid arvutada fookussuhetega.



Joonis 3.3. Jätkuvtala

Tabel 3.3. Jätkuvtala mõõtmed

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1 [m]$	5	5	6	6	5	6	5	6	8	8
$l_2 [m]$	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5
$l_3 [m]$	6	6	6	5	5	5	8	8	5	6

Tabel 3.4. Jätkuvtala koormused

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$g [kN/m]$	12	14	16	18	12	14	16	12	14	16
a	2	3	4	6	7	22	23	24	26	27
b	12	12	13	14	13	14	13	12	13	15
c	17	16	18	18	17	17	16	15	15	19

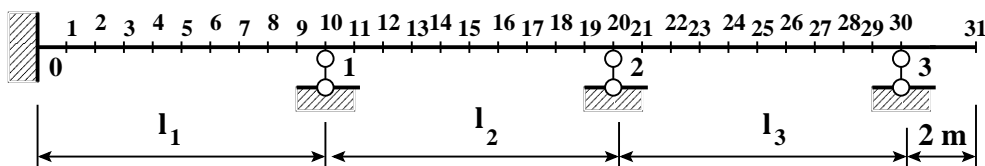
Ülesanne 3.4 Koostada jätkuvtala (joonis 3.4) paindemomendi M ja põikjõu Q epüürid, suurimate paindemomentide epüür, toemomendi X_i , toereaktsiooni R_i , paindemomendi M_k ja põikjõu Q_k mõjujooned.

Andmed. Tala jäikus on konstantne. Tala silded ja toe i järjekorranumber võtta tabelist 3.5. Lõige k , tala omakaal g ja ajutise koormuse koondatud jõudude $F_a = 80 \text{ kN}$, $F_b = 60 \text{ kN}$, $F_c = 40 \text{ kN}$ asukohad (lõiked a , b ja c) on antud tabelis 3.6. Ühel sildel asuvad jõud F_b ja F_c mõjuvad samal ajal.

Mõjujoonte koostamisel jagada silded viieks võrdseks osaks ($\xi = 0.0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8$ ja 1.0). Mõjujoone ordinaadid arvutada joonisel 3.4 paarisarvudega tähistatud lõigete ja konsoli otsa kohal.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) tala skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) tala staatikalise määramatuse aste;
- 4) omakaalust põhjustatud toemomentide arvutus kolme momendi võrrandiga;
- 5) sisejõudude epüürid omakaalust;
- 6) sisejõudude epüürid sillete kaupa mõjuvast ajutisest koormusest. Toemomendid arvutada fookussuhetega;
- 7) suurimate paindemomentide epüür sildele, kus on lõige a ;
- 8) toemomendi X_i , toereaktsiooni R_i , lõike k paindemomendi M_k ja põikjõu Q_k mõjujooned. Mõjujoonte ordinaadid arvutada fookussuhetega.



Joonis 3.4. Jätkuvtala II

3.3 Raami arvutus deformatsioonimeetodil

Ülesanne 3.5 Koostada raami sisejõudude M , Q ja N epüürid.

Andmed võtta tabelist 3.7 ja skeem jooniselt 3.5.

Esitada

- 1) ülesande tekst;

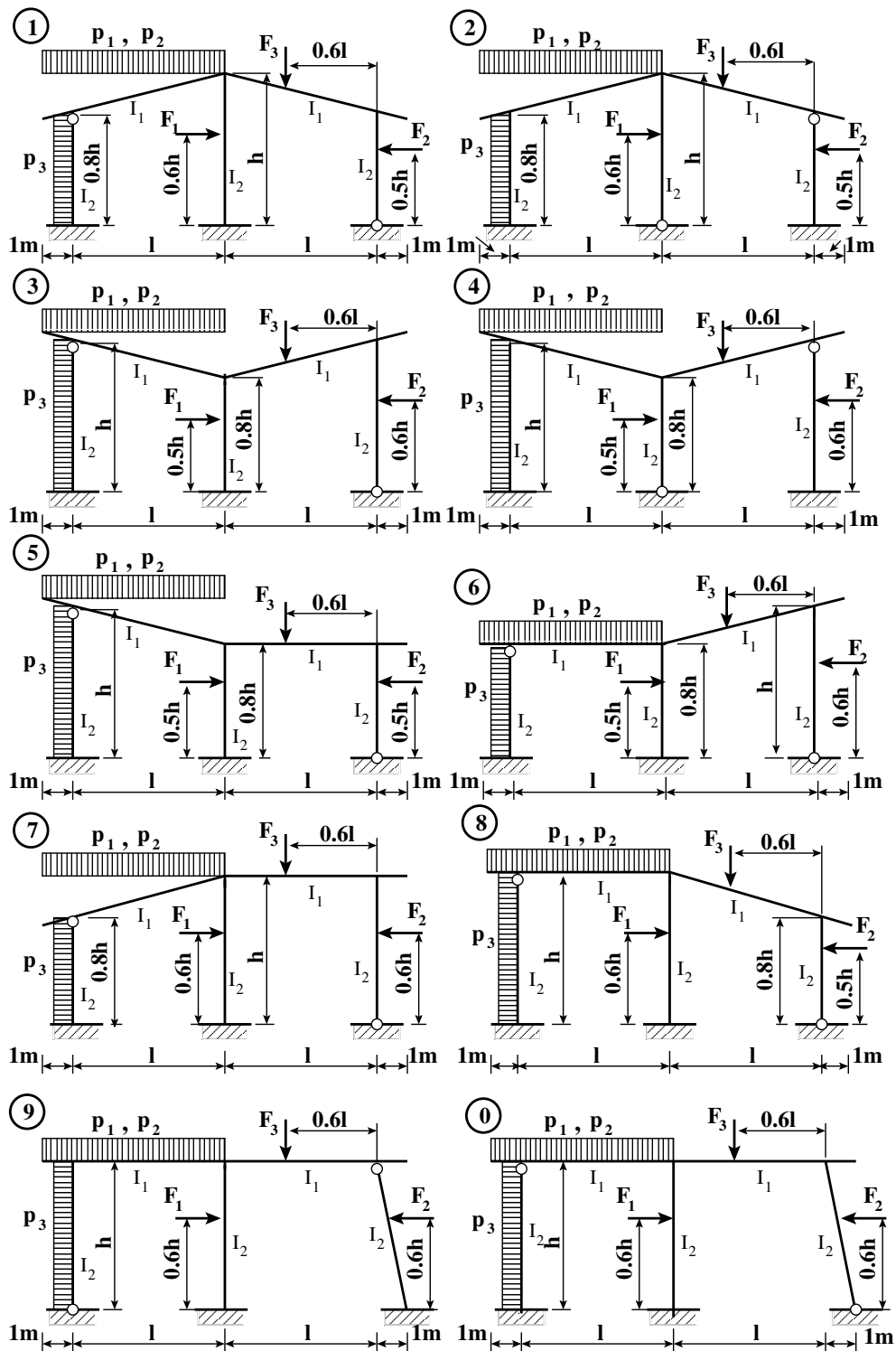
Tabel 3.5. Jätkuvtala II mõõtmed

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1 [m]$	8	10	8	10	8	10	6	8	8	6
$l_2 [m]$	10	10	8	8	10	8	8	6	8	6
$l_3 [m]$	8	8	10	8	10	10	8	8	6	8
i	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2

Tabel 3.6. Jätkuvtala II koormused

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$g [kN/m]$	12	14	16	18	12	14	16	12	14	16
a	3	4	2	26	27	18	17	26	24	23
b	12	12	13	14	14	2	2	3	4	4
c	17	16	18	18	17	7	6	8	8	7
k	24	22	26	8	4	6	28	16	14	12

- 2) raami skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) raami geomeetrilise määramatuse aste;
- 4) geomeetriselt määratud põhiskeem;
- 5) varrasahela siirete skeem (varraste pöörded);
- 6) deformatsioonimeetodi kanooniline võrrandisüsteem (tundmatute kordajad ja vabaliikmed mitte arvuliselt);
- 7) kanoonilise võrrandisüsteemi tundmatute kordajate ja vabaliikme arvutus;
- 8) kanooniline võrrandisüsteem, selle lahend ja kontroll;
- 9) kinnitusemomentide arvutus;
- 10) sisjõudude M , Q ja N epüürid ning nende koostamiseks vajalike ordinaatide arvutus;
- 11) lahendi staatikaline ja kinemaatikaline kontroll.



Joonis 3.5. Raami arvutus deformatsioonimeetodil

Tabel 3.7. Raami mõõtmed ja koormused. Deformatsioonimeetod

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l [m]	6	8	10	6	8	10	6	8	10	12
h [m]	3	4	4	4	5	5	3	4	4	5
I_1/I_2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
p_1 [kN/m]	12	0	0	14	0	0	8	0	0	10
p_2 [kN/m]	0	14	0	0	8	0	0	16	0	0
p_3 [kN/m]	0	0	8	0	0	12	0	0	14	0
F_1 [kN]	50	0	0	40	0	0	30	0	0	20
F_2 [kN]	0	50	0	0	40	0	0	30	0	0
F_3 [kN]	0	0	50	0	0	40	0	0	30	0

3.4 Raami kriitilise koormuse määramine

Ülesanne 3.6 Arvutada tasandraami (joonis 3.6) kriitiline koormus deformatsiooni-meetodiga.

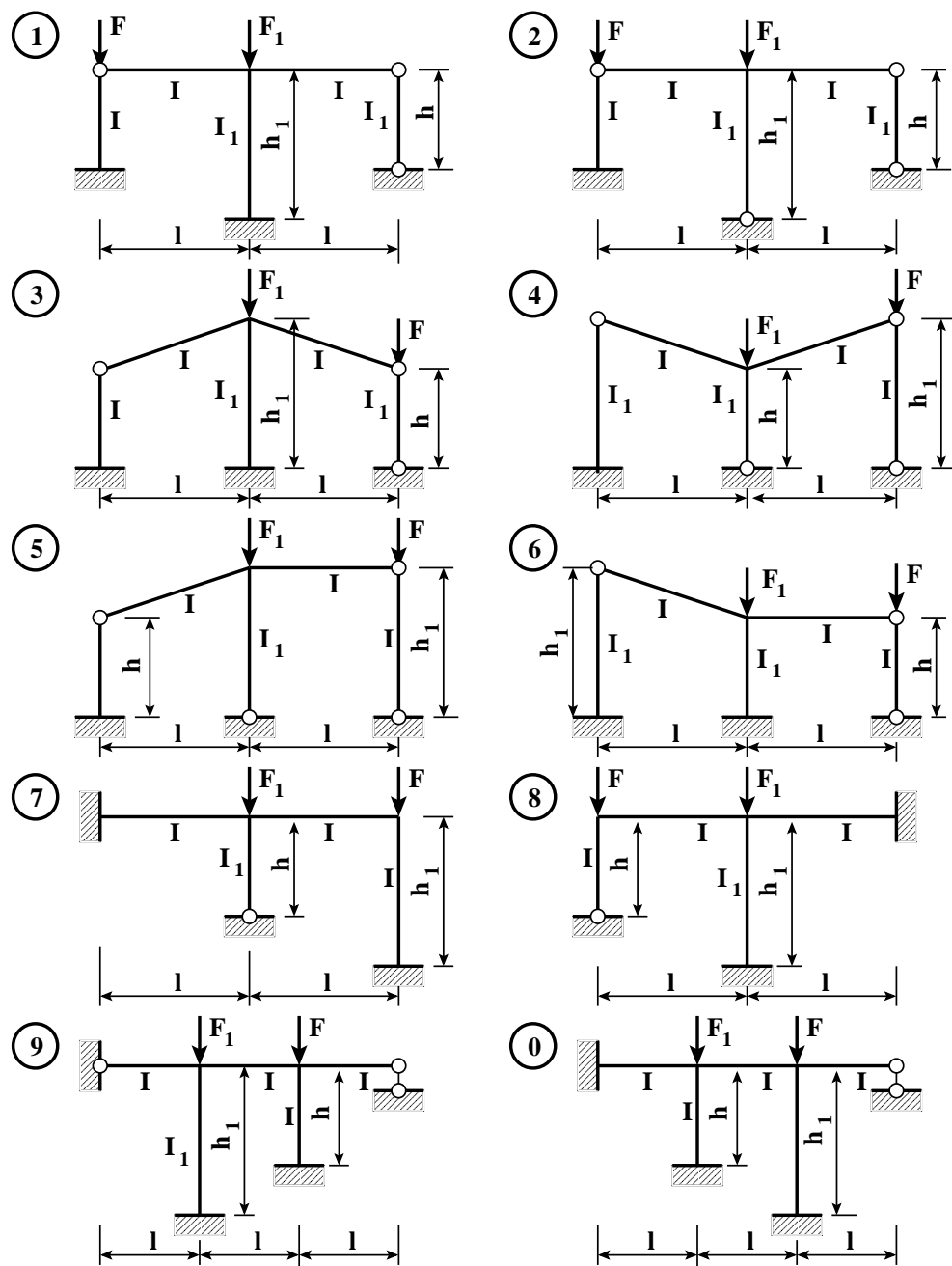
Andmed võtta tabelist 3.8 ja raami skeem jooniselt 3.6.

Esitada

- 1) ülesande tekst;
- 2) raami skeem mõõtmete ja koormusega;
- 3) raami geomeetrilise määramatuse aste;
- 4) varraste paindejäikused $i = EI/l$;
- 5) surutud varraste nõtketegurid (tunnusarvud) ν ;
- 6) geomeetriselt määratud põhiskeem;
- 7) deformatsioonimeetodi kanooniline võrrandisüsteem üldkujul antud raamile;
- 8) võrrandisüsteemi tundmatute kordajate arvutus;
- 9) stabiilsusvõrrand, mis on koostatud funktsioonide φ ja η täpsete väärtustega (vt A.8), ning selle võrrandi lahend (F_{kr});
- 10) surutud varraste redutseeritud saledused $\lambda = \frac{\pi l}{\nu_i}$ (avaldada h/i kaudu).

Tabel 3.8. Raami mõõtmed ja koormused. Kriitiline koormus

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l/h	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
h/h	0.6	0.7	0.75	0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
F /F	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	3	3	3
I /I	0.8	1.2	1.5	1.6	1.8	2	2.4	2.5	2.8	3



Joonis 3.6. Raami kriitiline koormus

Lisa A

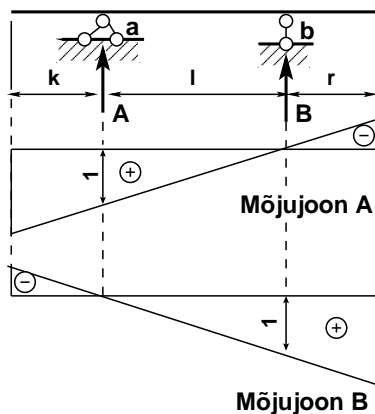
Mõjujooned. Märgireeglid

A.1 Mõjujooned

Liikuva koormuse puhul fikseeritakse ristlõige ja leitakse selles sisejõud või toereaktsioon sõltuvalt koormuse asukohast. Ristlõigete jaoks koostatakse graafikud (mõjujooned).

Mõjujoon on graafik, mis kujutab konstruktsioonil liikuvast ja suunda säilitavast ühikjõust tingitud toereaktsiooni, sisejõu, siirde vms suurust arvutuskeemi kindlas ristlõikes.

Konsoolidega tala toereaktsioonide mõjujooned on näidatud joonisel A.1. Konsoolidega



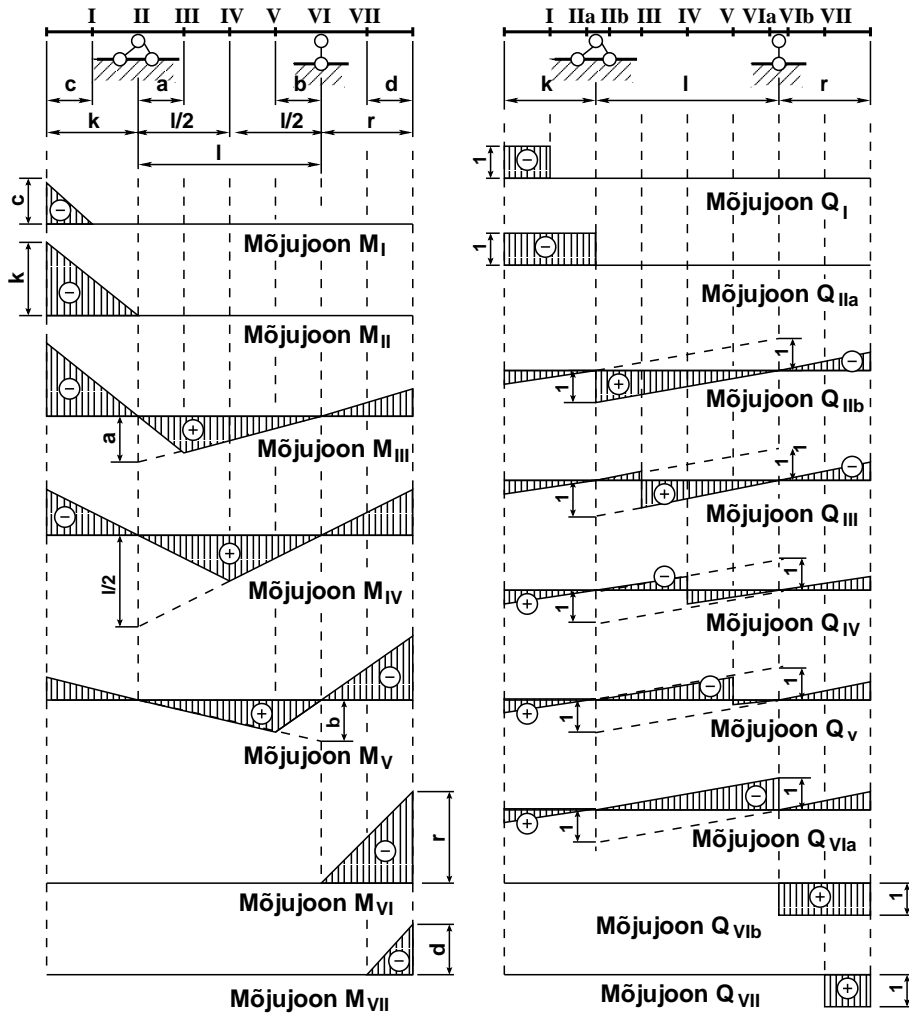
Joonis A.1. Toereaktsioonide mõjujooned

tala paindemomendi ja põikjõu mõjujooned on joonisel A.2.

Ühtlaselt jaotatud koormusest ($q = \text{const}$) põhjustatud sisejõu Z_k (vt joonis A.3) saame avaldisest (A.1)

$$Z_k = q \int_a^c \eta(\xi) d\xi = q \cdot \Omega \quad (\text{A.1})$$

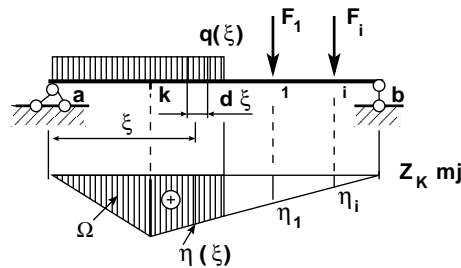
kus Z_k on sisejõud ning Ω mõjujoone pindala (vt joonisel A.3 viirutatud osa), ja kogu koormusest (vt joonis A.3) avaldisega (A.2).



Joonis A.2. Momendi ja põikjõu mõjujooned

$$Z_k = F_1 \cdot \eta_1 + F_i \cdot \eta_i + q \int_a^c \eta(\xi) d\xi = F_1 \cdot \eta_1 + F_i \cdot \eta_i + q \cdot \Omega \quad (\text{A.2})$$

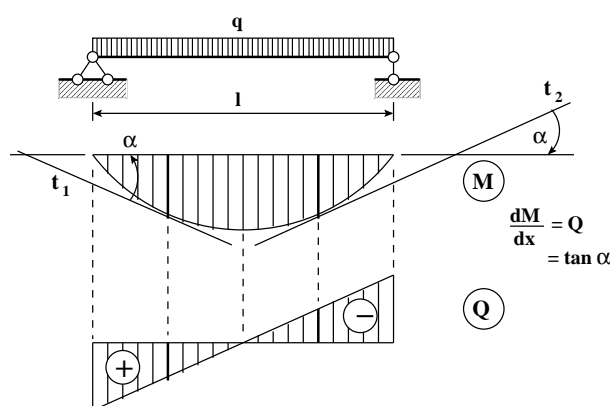
siin on F_1 , F_i koondatud jõud ja η_1 , η_i vastavate jõudude all olevad ordinaadid mõjujoonel (vt joonis A.3).



Joonis A.3. Mõjujoonte kasutamine

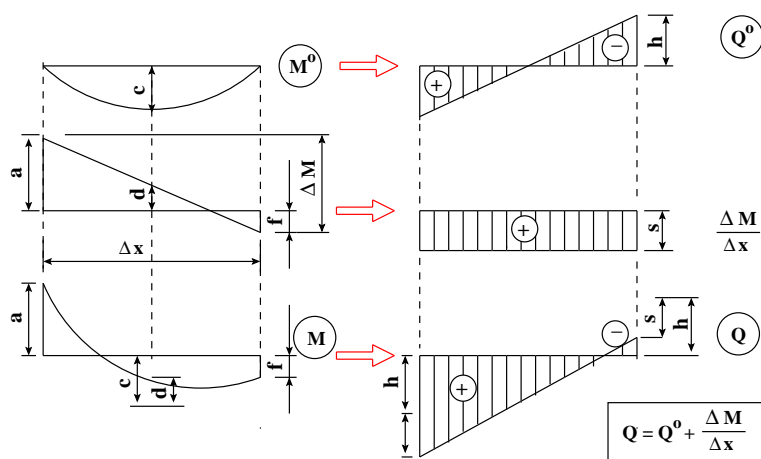
A.2 Epüürid ja diferentsiaalseosed

Varraste põikjõu märgi määramiseks vaatleme joonist A.4. Paindemomendi tuletise geometriliseks tõlgenduseks punktis on selles punktis paindemomendi epüüri puutuja t_1 (t_2) tõusunurga tangens ($\tan \alpha$). Põikjõu märk oleneb puutuja (joonis A.4) pööramise suunast (puutujat pöörame nii, et ta ühtiks varda teljega, seejuures $\alpha < \frac{\pi}{2}$): vastupäeva pöörates on põikjõud positiivne ja päripäeva pöörates negatiivne.



Joonis A.4. Põikjõu märgi määramine

Põikjõud horisontaalses vardas leiame epüüride liitmiseks (vt joonis A.5). Joonisel



Joonis A.5. Põikjõud horisontaalses vardas

A.5 on näidatud paindemomendid ja nendele vastavad põikjõud. Lineaarselt muutuva paindemomendi korral võime diferentsiaalseose (A.3) asendada

$$Q = \frac{dM}{dx} \quad (\text{A.3})$$

$$Q = \frac{\Delta M}{\Delta x} \quad (\text{A.4})$$

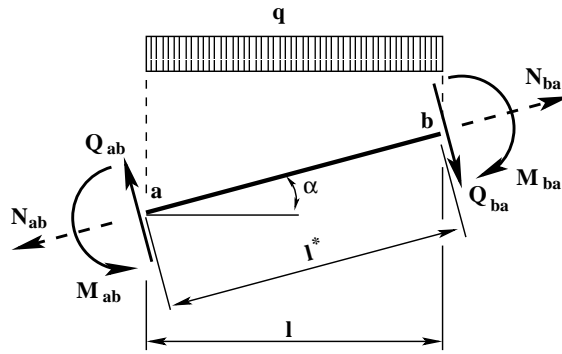
diferentsseosega (A.4).

$$Q = Q^{(0)} + \frac{\Delta M}{\Delta x} \quad (\text{A.5})$$

siin on $Q^{(0)}$ vastava lihttala põikjõud.

A.3 Põikjõud vardas

Põikjõu leidmiseks kaldu olevas vardas (vt joonis A.6) koostame tasakaaluvõrrandi var-
da lõpu b kohta



Joonis A.6. Põikjõud kaldu vardas

$$\Sigma M_b = 0 : \quad Q_{ab} \cdot l^* - M_{ab} + M_{ba} - (q \cdot l) \cdot \frac{l}{2} = 0 \quad (\text{A.6})$$

$$Q_{ab} = \frac{(q \cdot l)}{2} \cdot \frac{l}{l^*} + \frac{M_{ab} - M_{ba}}{l^*} \quad (\text{A.7})$$

$$Q_{ab} = Q_{ab}^{(0)} \cdot \cos \alpha + \frac{M_{ab} - M_{ba}}{l} \cdot \cos \alpha \quad (\text{A.8})$$

ning tasakaaluvõrrandi var-
da alguse a kohta

$$\Sigma M_a = 0 : \quad Q_{ba} \cdot l^* - M_{ab} + M_{ba} + (q \cdot l) \cdot \frac{l}{2} = 0 \quad (\text{A.9})$$

$$Q_{ba} = -\frac{(q \cdot l)}{2} \cdot \frac{l}{l^*} + \frac{M_{ab} - M_{ba}}{l^*} \quad (\text{A.10})$$

$$Q_{ba} = Q_{ba}^{(0)} \cdot \cos \alpha + \frac{M_{ab} - M_{ba}}{l} \cdot \cos \alpha \quad (\text{A.11})$$

kus $l^* = \frac{l}{\cos \alpha}$

A.4 Staatikaga määratav mitmesildeline tala

Mitmesildeline tala on staatikaga määratav, kui lihtliigendite arv l on võrdne ilma liigenditeta tala staatikaga määramatuse astmega (C.1)

$$l = t - 3 \quad (\text{A.12})$$

kus t on toesidemete arv.

A.5 Staatikaga määramatuse aste

Kui konstruktsioonis on nii liigendita kui liigenditega suletud kontuure, siis leitakse staatikaga määramatuse aste n valemiga (A.13)

$$n = 3m - l \quad (\text{A.13})$$

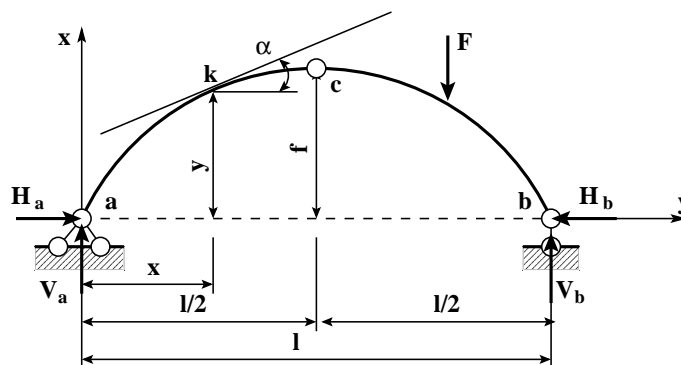
kus m on liigendita või liigenditega kontuuride arv,
 l – lihtliigendite arv

A.6 Kaare telgjoone võrrandid

Kaare telgjooneks on ruutparabool, mille võrrand on

$$y = \frac{4f x (l - x)}{l^2} \quad (\text{A.14})$$

Kaare sille l , tõus f ja kaare telje puutuja kaldenurk φ on näidatud joonisel A.7. Kaare



Joonis A.7. Kaare telgjoon

telje puutuja kaldenurga siinuse ja koosinuse leiame valemitega

$$\sin \varphi = \frac{\left(l - 2\frac{x}{l}\right)}{\sqrt{\left(\frac{l}{4f}\right)^2 + \left(l - 2\frac{x}{l}\right)^2}} \quad (\text{A.15})$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{4f}{l}\right)^2 \left(l - 2\frac{x}{l}\right)^2}} \quad (\text{A.16})$$

Tähistades

$$\xi = \frac{x}{l}, \quad \xi' = \frac{(l-x)}{l} \quad (\text{A.17})$$

saame

$$y = \frac{4f}{l^2} \xi \xi' \quad (\text{A.18})$$

$$\sin \varphi = \frac{(l-2\xi)}{\sqrt{\left(\frac{l}{4f}\right)^2 + (l-2\xi)^2}} \quad (\text{A.19})$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{4f}{l}\right)^2 (l-2\xi)^2}} \quad (\text{A.20})$$

Kaare telgjooneks on ringi kaar, mille võrrand on

$$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - (R - f) \quad (\text{A.21})$$

Avaldises (A.21) on R kaare telje kõverusraadius, mille arvutame järgmise valemiga:

$$R = \frac{(l^2 + 4f^2)}{8f} \quad (\text{A.22})$$

Kaare telje puutuja kaldenurga siinuse ja koosinuse leiame valemitega

$$\sin \varphi = \frac{l}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l}\right) \quad (\text{A.23})$$

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l}\right)^2} \quad (\text{A.24})$$

A.7 Kaare sisejõud

Sisejõud kaare lõikes x arvutame järgmiste valemitega:

$$M_x = M_x^o - H \cdot y \quad (\text{A.25})$$

$$Q_x = Q_x^o \cos \varphi - H \sin \varphi \quad (\text{A.26})$$

$$N_x = Q_x^o \sin \varphi + H \cos \varphi \quad (\text{A.27})$$

A.8 Eesarvud

Surutud varraste tunnusarvud (nõtketegurid) ν

$$\nu = l \sqrt{\mp | \frac{S}{EI} |} \quad (\text{A.28})$$

mida edaspidi nimetame *varda tunnusarvuks* (sks *Stabkennzahl*). Siin on tõmbel ($S \geq 0$) märk $-$ ja survel ($S \leq 0$) märk $+$.

Varda otstes tekkivad momendid varda otste pööretest φ_i , φ_k ja varda pöördest $\vartheta_{ik} = \vartheta_{ki}$.

Varda mõlemad otsad jäigalt kinnitatud

$$M_{ik}(\varphi_i, \varphi_k, \vartheta_{ik}) = \frac{EI}{l} [A^* \varphi_k + B^* \varphi_i - (A^* + B^*) \vartheta_{ik}] \quad (\text{A.29})$$

Varda üks ots jäigalt kinnitatud, teises liigend

$$M_{ik}(\varphi_i, \vartheta_{ik}) = \frac{EI}{l} [C^* (\varphi_i - \vartheta_{ik})] \quad (\text{A.30})$$

Avaldistes (A.29) ja (A.30) nimetame suurusi A^* , B^* ning C^* *eesarvudeks* (sks *Vorzahlen*)

$$\begin{aligned} A^* &\equiv 4\varphi_2(\nu) = \frac{\nu \sin \nu - \nu^2 \cos \nu}{2(1 - \cos \nu) - \nu \sin \nu} \\ B^* &\equiv 2\varphi_3(\nu) = \frac{\nu^2 - \nu \sin \nu}{2(1 - \cos \nu) - \nu \sin \nu} \\ C^* &\equiv 3\varphi_1(\nu) = \frac{\nu^2 \sin \nu}{\sin \nu - \nu \cos \nu} \end{aligned} \quad (\text{A.31})$$

Eesarvude sõltuvus survel varda tunnusarvust ν on näidatud joonisel A.8.

Eesarvude leidmiseks võib kasutada *Octave*'i või *MATLAB*'i programmi E.1 lk 73.

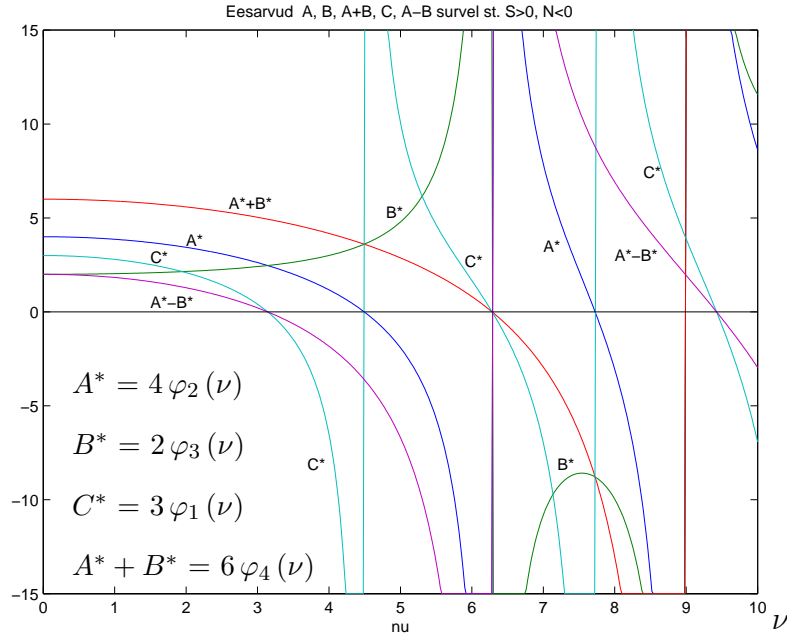
Funktsioonid $\varphi_1(\nu)$, $\varphi_2(\nu)$ ja $\varphi_3(\nu)$ on tabuleeritud õpikus [EP67] lk 599. Need funktsioonid on seotud eesarvudega järgmiste avaldistega

$$A^* = 4 \varphi_2(\nu) \quad (\text{A.32})$$

$$B^* = 2 \varphi_3(\nu) \quad (\text{A.33})$$

$$C^* = 3 \varphi_1(\nu) \quad (\text{A.34})$$

$$A^* + B^* = 6 \varphi_4 \quad (\text{A.35})$$



Joonis A.8. Eesarvud A, B, C A+B survel

Kui puudub pikijõud, s.t $S = 0$, siis eesarvude avaldistes (A.31) piirile minnes $\lim_{\nu \rightarrow 0}$, saame deformatsioonimeetodis tuntud suurused

$$\begin{aligned} \lim_{\nu \rightarrow 0} A^* &= 4, & \lim_{\nu \rightarrow 0} B^* &= 2, & \lim_{\nu \rightarrow 0} C^* &= 3 \\ \lim_{\nu \rightarrow 0} \varphi_1(\nu) &= 1, & \lim_{\nu \rightarrow 0} \varphi_2(\nu) &= 1, & \lim_{\nu \rightarrow 0} \varphi_3(\nu) &= 1 \end{aligned} \quad (\text{A.36})$$

Eesarvude leidmiseks tõmbel võib kasutada Octave või MATLAB'i programmi E.1 lk 73.

Eesarvude arvutamist *Octave*'ga on näidatud ekraanipildil (joonis A.9). Siin on varda pikkus $l = 6m$, surve $-$, survejõud $S = 70kN$ ja varda ristlõike jäikus $EI = 30000kNm^2$. Varda leitud eesarvud A^* , B^* , $A^* + B^*$, C^* , $A^* - B^*$, V^* ja α , β on toodud samal joonisel A.9.

```

bash-2.05a$ octave
GNU Octave, version 2.0.16.92 (i386-pc-linux-gnu).
Copyright (C) 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 John W. Eaton.
This is free software with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
For details, type `warranty'.

octave:1> eesarvud
      EESARVUD PIKIPÖIKPAINDEL
Sisesta varda pikkus  l=6
Sisejõud  S
Survel:märk - ( S<=0, N<=0 );  Tömbel:märk + ( S>=0, N>=0 )
Ütle kas  + või - märk= -
Ütle S-i väärtus.  S=70
Ütle varda paindejääikus  EJ=30000

-----
      Piki jõud survel : S= -70 Varda ristlõike paindejääikus EJ= 30000
-----
      nu |  A  |  B  | A+B |  C  | A-B |  V
-----
      0.28983  3.98879  2.00281  5.99159  2.98316  1.98598  1.00847
-----
      Varda pikkus l=6
-----
      ALFA |  BETA  |
-----
      0.33522  0.16831
octave:2>

```

Joonis A.9. Eesarvude arvutamine *Octave*'ga.

Lisa B

Tabelid

B.1 Kinnitusemomendid ja põikjõud

Sirgetest varrastest moodustatud raami *geomeetrilise määramatuse aste*, s.t lisatundmatute arv, leitakse valemiga (B.1)

$$n^* = s_3 + w \quad (\text{B.1})$$

kus w

$$w = 2s - v - t \quad (\text{B.2})$$

on *raami vabadusaste* ja tähistab varraste pöördenurki määravate sõltumatute geomeetriliste parameetrite arvu. Geomeetrilise määramatuse aste (B.1) võrdub jääkade sõlmede (ilma toesõlmedeta) arvuga, kui raami vabadusaste (B.2) on null või negatiivne

$$n^* = s_3, \quad w \leq 0 \quad (\text{B.3})$$

Paindemomendid M_{jk} ja M_{kj} (B.4) varda otste ristlõigetel arvutatakse koormusest tekkiva paindemomendi $M_{jk}^{(p)}$, $M_{kj}^{(p)}$ ja sõlmede j , k pöörete φ_j , φ_k ning varda pöördest ϑ_{jk} tekkivate paindemomentide summeerimisega.

$$\begin{aligned} M_{jk} &= M_{jk}^{(p)} + 4 \cdot i_{jk} \cdot \varphi_j + 2 \cdot i_{jk} \cdot \varphi_k - 6 \cdot i_{jk} \cdot \vartheta_{jk} \\ M_{kj} &= M_{kj}^{(p)} + 2 \cdot i_{jk} \cdot \varphi_j + 4 \cdot i_{jk} \cdot \varphi_k - 6 \cdot i_{jk} \cdot \vartheta_{jk} \end{aligned} \quad (\text{B.4})$$

siin ei ole summeerimist indekseid j ja k järgi.

Kinnitusemomendid on toodud tabelis B.1 leheküljel 56.

B.2 I-talad

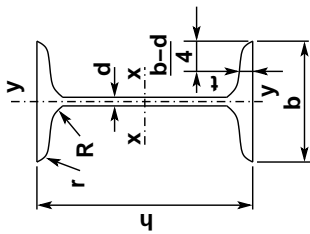
I-talade tabel on toodud leheküljel 57 ja 58. See tabel on mõeldud õppeülesannete lahendamiseks. Andmed on võetud trükisest [Ter86].

Terasprofiilide tabelitele (kõik standardid) leiate viiteid "KM Projektbüroo - Lingikogu" leheküljelt <http://www.kmprojekt.ee/teras.html>

Tabel B.1. Kinnitussmomendid ja põikjõud

<i>Jrk nr</i>	<i>Skeem</i>	M_{JK}	M_{KJ}	Q_{JK}	Q_{KJ}
A		$4i$	$2i$	$-\frac{6i}{l}$	
B		$2i$	$4i$	$-\frac{6i}{l}$	
1		$-6i\vartheta_1$	$-6i\vartheta_1$	$\frac{12i\vartheta_1}{l}$	
C		$3i$	—	$-\frac{3i}{l}$	
2		$-3i\vartheta_2$	—	$-\frac{3i\vartheta_2}{l}$	
3		$-\frac{ql^2}{12}$	$\frac{ql^2}{12}$	$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql}{2}$
4		$-\xi\eta^2 Fl$	$\xi^2\eta Fl$	$(1 + 2\xi)\eta^2 F$	$-\xi^2(1 + 2\eta) F$
5		$\eta(2 - 3\eta) \mathcal{M}$	$\xi(2 - 3\xi) \mathcal{M}$	$-(1 - \xi^2 - \eta^2) \frac{3\mathcal{M}}{l}$	
6		$-\frac{ql^2}{8}$	—	$\frac{5ql}{8}$	$-\frac{3ql}{8}$
7		$-\eta(1 - \eta^2) \frac{Fl}{2}$	—	$\frac{\eta}{2}(3 - \eta^2) F$	$-\frac{\xi^2}{2}(3 - \xi) F$
8		$(1 - 3\eta^2) \frac{\mathcal{M}}{2}$	—	$-\frac{3}{2}(1 - \eta^2) \frac{\mathcal{M}}{l}$	
9		—	$\frac{ql^2}{8}$	$\frac{3ql}{8}$	$-\frac{5ql}{8}$
10		—	$\xi(1 - \xi^2) \frac{Fl}{2}$	$\frac{\eta^2}{2}(3 - \eta) F$	$-\frac{\xi}{2}(3 - \xi^2) F$
11		—	$(1 - 3\xi^2) \frac{\mathcal{M}}{2}$	$\frac{3}{2}(1 - \xi^2) \frac{\mathcal{M}}{l}$	
$\xi = \frac{a}{l} \quad \eta = \frac{b}{l}$					

I-tala (õppeülesannete lahendamiseks [Ter86])



- h – ristlõike kõrgus J – inertsimoment
 b – vöö laius W – tugevusmoment
 d – seina laius i – inertsiraadius
 t – vöö keskmine paksus S – poole ristlõike staatiline moment

Profili nr	Mõõtmed mm				Ristlõike pindala A mm ²	J_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	S_x cm ³	J_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	Mass 1 m, kg
	h	b	d	t									
10	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22	9,46
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	11,5
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55	13,7
16	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7	15,9
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88	18,4
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12	19,9
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07	21,0
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32	22,7
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27	24,0
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,5	25,8
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37	27,3
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63	29,4
27	270	125	6	9,9	40,2	5010	317	11,2	210	260	41,5	2,54	31,5
27a	270	135	6	10,2	13,2	5500	407	11,3	229	337	50	2,8	33,9
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,68	36,5

I-tala (õppeülesannete lahendamiseks [Ter86]) järg

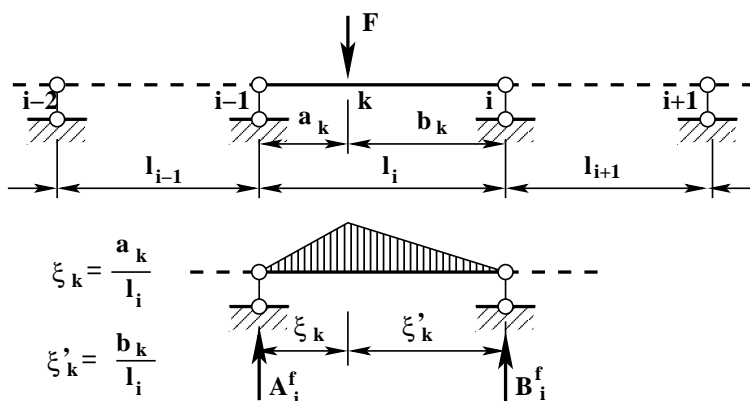
Profili nr	Mõõtmed mm				Ristlõike pindala A mm^2	J_x cm^4	W_x cm^3	i_x cm	S_x cm^3	J_y cm^4	W_y cm^3	i_y cm	Mass $1 m, kg$
	h	b	d	t									
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,68	36,5
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95	39,2
33	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79	42,2
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89	48,6
40	400	155	8,3	13	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03	57,0
45	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09	66,5
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23	78,5
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39	92,6
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54	108,0

Lisa C

Valemeid

C.1 Jätkuvtala

Siin esitatakse jätkuvtala (vt joonis C.1) kolme momendi võrrand ja fookussuhetega arvutamiseks vajalikud valemid. Staatilise määramatuse aste leitakse valemiga (C.1)



Joonis C.1. Jätkuvtala tähised

$$n = t - 3 \quad (\text{C.1})$$

kus t on toesidemete arv.

Kolme momendi võrrand (C.2)

$$l'_i X_{i-1} + 2(l'_i + l'_{i+1}) X_i + l'_{i+1} X_{i+1} = -6B_i^f \frac{I_0}{I_i} - 6A_{i+1}^f \frac{I_0}{I_{i+1}} \quad (\text{C.2})$$

kus $l'_i = l_i \frac{I_0}{I_i}$

ning A_{i+1}^f, B_i^f on fiktiivsed koormused (C.8 – C.9).

Toemomendid (C.3), (C.4)

$$X_{i-1} = -\frac{6A_i^f k'_i - 6B_i^f}{l_i (k_i k'_i - 1)} \quad (\text{C.3})$$

$$X_i = -\frac{6B_i^f k_i - 6A_i^f}{l_i (k_i k'_i - 1)} \quad (\text{C.4})$$

Fookussuhted (C.5), (C.6)

$$k_j = 2 + \frac{l'_{j-1}}{l'_j} \left(2 - \frac{1}{k_{j-1}} \right), \quad X_{j-1} = -\frac{X_j}{k_j} \quad (\text{C.5})$$

$$k'_j = 2 + \frac{l'_{j+1}}{l'_j} \left(2 - \frac{1}{k'_{j+1}} \right), \quad X_j = -\frac{X_{j-1}}{k'_j} \quad (\text{C.6})$$

Fiktiivsed koormused on tabelis C.1 [Rää75]. Ühtlaselt jaotatud koormuse q ja ühtlase ristlõike jäikuse ($I_i = I_0$) puhul on avaldis (C.7) ning koondatud jõu F_k puhul avaldised (C.8) ja (C.9).

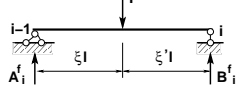
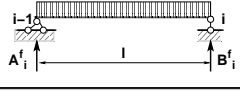
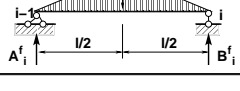
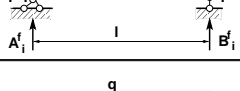
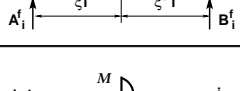
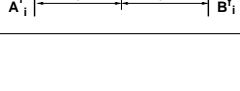
$$6A_1^f = 6B_1^f = \frac{ql^3}{4} \quad (\text{C.7})$$

$$6A_i^f = F_k l_i^2 \cdot \xi_k \cdot \xi'_k (1 + \xi'_k) \quad (\text{C.8})$$

$$6B_i^f = F_k l_i^2 \cdot \xi_k \cdot \xi'_k (1 + \xi_k) \quad (\text{C.9})$$

Siin $\xi_k = \frac{a_k}{l_i}$ ja $\xi'_k = \frac{b_k}{l_i}$ (vaata joonist C.1).

Tabel C.1. Valemid vabaliikmete arvutamiseks

<i>Jrk nr</i>	<i>Skeem</i>	$6\frac{I_0}{I_i} A_i^f$	$6\frac{I_0}{I_i} B_i^f$
1		$Fl_i l'_i \xi \xi' (1 + \xi')$	$Fl_i l'_i \xi \xi' (1 + \xi)$
2		$\frac{1}{4} ql_i^2 l'_i$	$\frac{1}{4} ql_i^2 l'_i$
3		$\frac{5}{32} ql_i^2 l'_i$	$\frac{5}{32} ql_i^2 l'_i$
4		$\frac{7}{60} ql_i^2 l'_i$	$\frac{2}{15} ql_i^2 l'_i$
5		$\frac{1}{4} ql_i^2 l'_i \xi'^2 (2 - \xi'^2)$	$\frac{1}{4} ql_i^2 l'_i \xi'^2 (2 - \xi')^2$
6		$-Ml'_i (1 - 3\xi'^2)$	$Ml'_i (1 - 3\xi^2)$

Lisa D

Programmi *Octave* kasutamine

D.1 Programmist *Octave*

Arvutiprogrammiga *Octave*¹ on lihtne teha maatriksarvutusi. Kasutatavad failid on *.m* laiendiga. Need *.m* laiendiga failid töötavad ka MATLAB'iga. Erinevused ilmnevad graafika kasutamisel. *Octave* on tasuta tarkvara, mis on *MSWindows*'i jaoks, vt *Installing Octave in Windows*² ja *Linux*'ile.

Arvutiprogrammi *Octave* kohta saab viiteid [lehekülgedelt](#)³ ⁴.

Kui oled installeerinud *Octave*, siis tee oma failide hoidmiseks kataloog (minul on *Linux*'is kataloog 'matlabr': /home/andres/matlabr/). *Octave* installeerimisega tekkis sinu kodukataloogis fail '.octaverc'. Selles failis on

```
LOADPATH = ["/usr/local/share/octave/sitem/", LOADPATH];
```

```
## Sellele lisan enda tehtud kataloogid: matlabr, matlem, matrem
```

```
## mis asuvad samas kataloogis kus .octaverc (/home/andres/)
```

```
LOADPATH = ["/matlabr/", LOADPATH];
```

```
LOADPATH = ["/matlem/", LOADPATH];
```

```
LOADPATH = ["/matrem/", LOADPATH];
```

Nendest kataloogidest leiab *Octave* kõik '*.m' laiendiga failid.

MSWindows'is *.m* failide kirjutamiseks kõlbab pfe editor (pfe101i.zip), mille leiate *FileWatcher*-iga <http://filewatcher.org/>

MSWindows'is fail 'octaverc' asub kataloogis:

```
/GNU/octave/usr/local/share/octave/2.1.31/m/startup/
```

```
Seal ridadele
```

```
gnuplot_binary = 'pipe-gnuplot...'
```

```
putenv('TMPDIR', '....')
```

```
lisan rea, mis viitab kataloogile D:\Matlabr:
```

```
path('/:cygdrive/d/Matlabr') või annan Octave's käsu
```

¹http://www.octave.org/doc/octave_toc.html

²<http://home.tiscalinet.ch/paulsoderlind/>

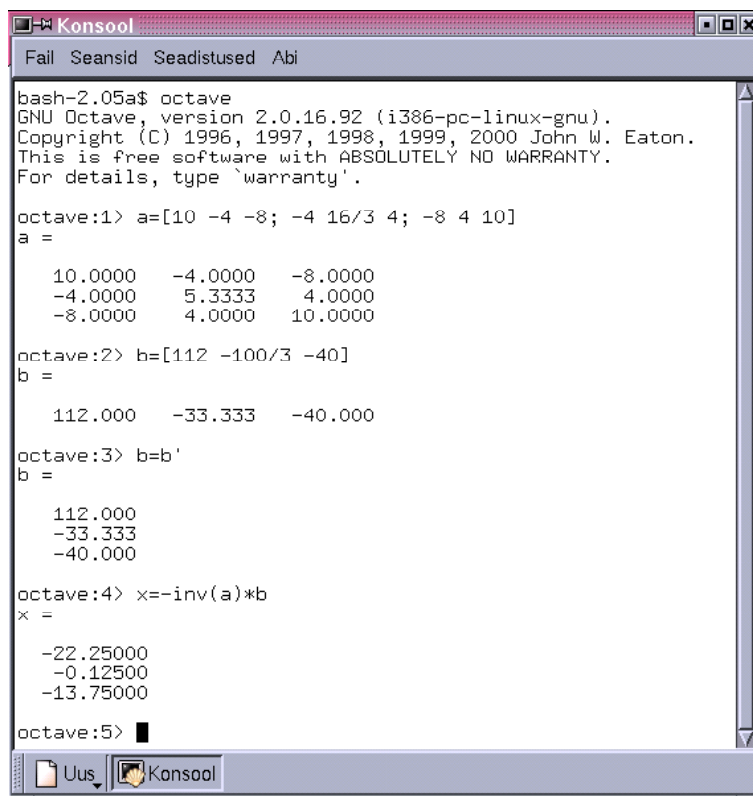
³<http://staff.ttu.ee/~alahe/aOctave.html>

⁴<http://staff.ttu.ee/~alahe/aMatlab.html>

cd /cydrive/d/Matlabr

Täpsemalt vaata *Running Octave in Windows*⁵.

Kui kasutate UNIX'is kirjutatud .m faili ja tahate, et ta töötaks *MSWindows*'is, siis avage ta PFE editoriga ja salvestage DOS-failina.



```

Konsool
Fail Seansid Seadistused Abi
bash-2.05a$ octave
GNU Octave, version 2.0.16.92 (i386-pc-linux-gnu).
Copyright (C) 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 John W. Eaton.
This is free software with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
For details, type `warranty'.

octave:1> a=[10 -4 -8; -4 16/3 4; -8 4 10]
a =

  10.0000  -4.0000  -8.0000
  -4.0000   5.3333   4.0000
  -8.0000   4.0000  10.0000

octave:2> b=[112 -100/3 -40]
b =

  112.000  -33.333  -40.000

octave:3> b=b'
b =

  112.000
  -33.333
  -40.000

octave:4> x=-inv(a)*b
x =

  -22.25000
   -0.12500
  -13.75000

octave:5>
  
```

Joonis D.1. Võrrandisüsteemi lahendamine *Octave*'ga

D.2 Võrrandisüsteemi lahendamine *Octave*'ga

Võrrandisüsteemi (D.1), (D.2) lahendamiseks kasutame

$$\begin{bmatrix} 10 & -4 & -8 \\ -4 & 16/3 & 4 \\ -8 & 4 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 112 \\ -100/3 \\ -40 \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{D.1})$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{b} = 0 \quad (\text{D.2})$$

programmi Octave, vt joonist D.1.

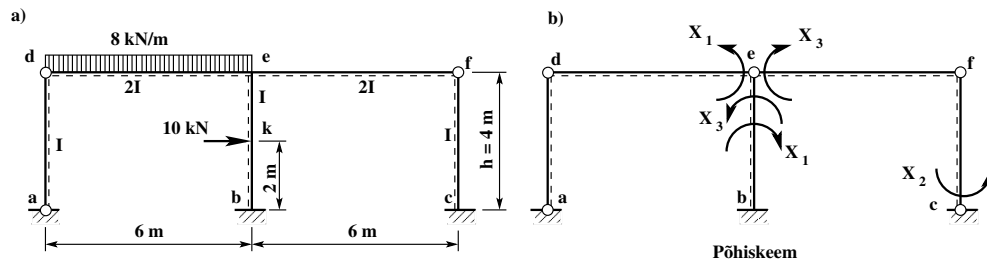
$$\mathbf{x} = -\mathbf{a}^{-1} \cdot \mathbf{b} \quad (\text{D.3})$$

⁵<http://home.tiscalinet.ch/paulsoderlind/>

Võrrandisüsteemi kordajad sisestatakse ridade kaupa. Read eraldatakse semikooloni-ga. Kümnedkohad arvus eraldatakse punktiga. Näiteks 10.5. Vabaliikmed võib sisestada reana ja siis transponeerida veeruks (vt joonis D.1, kus $b=b'$). Väikeste võrrandisüs-teemide puhul võib kasutada pöördmaatriksi funktsiooni ($a^{-1} = inv(a)$). Esimesed neli sisestust (octave:1> kuni octave:4>) on näidatud joonisel D.1.

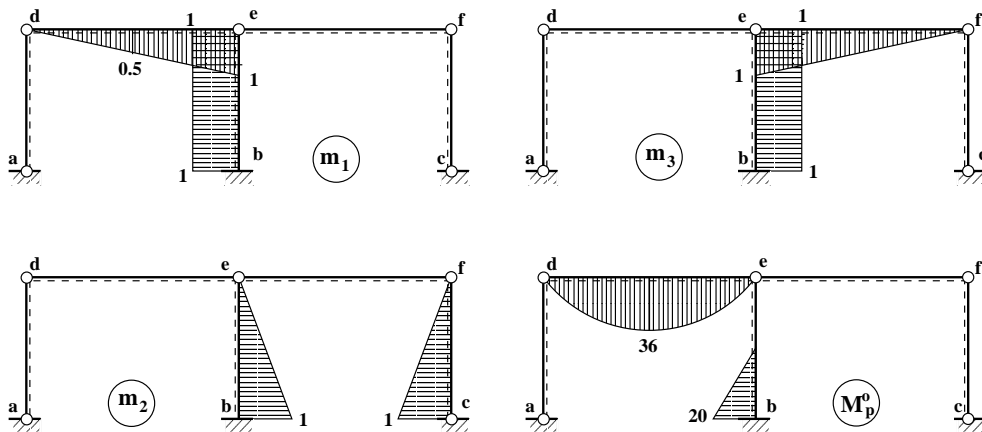
D.3 Paindemomendi arvutamine *Octave*'ga

Koostada joonisel D.2 a näidatud raamile paindemomendi epüür, kasutades arvutusprogrammi *Octave* (programm D.1 lk 69).



Joonis D.2. Raam ja põhiskeem

Joonisel D.2 b on näidatud valitud põhiskeem. Sellele põhiskeemile vastavad ühik-jõududest ja koormusest põhjustatud momendid on näidatud joonisel D.3. Jõumeetodi kanoonilise võrrandisüsteemi koostamiseks ja lahendamiseks arvutusprog-rammiga *Octave* (programm D.1 lk 69) esitame ühikjõududest ja koormusest põhjusta-tud momendid maatriksitena M_x ja M_p (vt avaldised (D.4) ja (D.5)). Nendes avaldistes sõltub elementide arv integreerimispiirkondade arvust (kasutame Simpsoni valemit, kus on momendi väärtused „alguses, keskel ja lõpus”).



Joonis D.3. Põhiskeemi epüürid

Raami varras, millel on koondatud jõud, on jagatud punktis k kaheks. Vaatleme põhiskeemi epüüre joonisel D.3. Iga varda otsas ja lõpus ning varda de keskel tähistame

momendid järgmiselt.

Momentide märgi võtame kokkuleppeliselt. Jooniselt D.9 võtame positiivse märgiga väärtused, mis asetsevad punktiirjoonega tähistatud poolel, ja kanname maatriksisse (D.5) (vt programm D.1).

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_{ad} \\ M_{adk} \\ M_{da} \\ \dots \\ M_{de} \\ M_{dek} \\ M_{ed} \\ \dots \\ M_{ek} \\ M_{ekkk} \\ M_{ke} \\ \dots \\ M_{kb} \\ M_{kbbk} \\ M_{bk} \\ \dots \\ M_{fe} \\ M_{fek} \\ M_{ef} \\ \dots \\ M_{fc} \\ M_{fck} \\ M_{cf} \end{bmatrix} ; \mathbf{Mx} = \begin{bmatrix} m_{ad}^1 & m_{ad}^2 & m_{ad}^3 \\ m_{adk}^1 & m_{adk}^2 & m_{adk}^3 \\ m_{da}^1 & m_{da}^2 & m_{da}^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{de}^1 & m_{de}^2 & m_{de}^3 \\ m_{dek}^1 & m_{dek}^2 & m_{dek}^3 \\ m_{ed}^1 & m_{ed}^2 & m_{ed}^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{ek}^1 & m_{ek}^2 & m_{ek}^3 \\ m_{ekkk}^1 & m_{ekkk}^2 & m_{ekkk}^3 \\ m_{ke}^1 & m_{ke}^2 & m_{ke}^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{kb}^1 & m_{kb}^2 & m_{kb}^3 \\ m_{kbbk}^1 & m_{kbbk}^2 & m_{kbbk}^3 \\ m_{bk}^1 & m_{bk}^2 & m_{bk}^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{ef}^1 & m_{ef}^2 & m_{ef}^3 \\ m_{efk}^1 & m_{efk}^2 & m_{efk}^3 \\ m_{fe}^1 & m_{fe}^2 & m_{fe}^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{fc}^1 & m_{fc}^2 & m_{fc}^3 \\ m_{fck}^1 & m_{fck}^2 & m_{fck}^3 \\ m_{cf}^1 & m_{cf}^2 & m_{cf}^3 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{post 1} \\ \dots \\ \text{riiv 1} \\ \dots \\ \text{pool postist 2} \\ \dots \\ \text{pool postist 2} \\ \dots \\ \text{riiv 2} \\ \dots \\ \text{post 3} \end{array} ; \mathbf{Mp} = \begin{bmatrix} M_{ad}^o \\ M_{adk}^o \\ M_{da}^o \\ \dots \\ M_{ed}^o \\ M_{edk}^o \\ M_{de}^o \\ \dots \\ M_{ek}^o \\ M_{ekkk}^o \\ M_{ke}^o \\ \dots \\ M_{kb}^o \\ M_{kbbk}^o \\ M_{bk}^o \\ \dots \\ M_{ef}^o \\ M_{efk}^o \\ M_{fe}^o \\ \dots \\ M_{fc}^o \\ M_{fck}^o \\ M_{cf}^o \end{bmatrix} \quad (\text{D.4})$$

Raami varras, millel on koondatud jõud, on jagatud kaheks. Nii tuleb kokku 6 integreerimispiirkonda.

Igas piirkonnas on kirjeldatud 3 ordinaati (alguses, keskel, lõpus). Kokku $3 \times 6 = 18$ väärtust igalt epüürilt (ühikepüüridelt \Rightarrow Mx-i ja Mp0 epüürilt \Rightarrow Mp-sse). Paremaks jälgimiseks on maatriksites (D.5) integreerimispiirkonnad eraldatud punktiiriga.

$$\mathbf{M}_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0.0 & -1 \\ 1 & -0.25 & -1 \\ 1 & -0.5 & -1 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & -0.5 & -1 \\ 1 & -0.75 & -1 \\ 1 & -1.0 & -1 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1.0 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 \end{bmatrix} ; \quad \mathbf{M}_p = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 36 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 10 \\ 20 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \textit{post 1} \\ \textit{post 1} \\ \dots \\ \textit{riiv 1} \\ \dots \\ \textit{pool postist 2} \\ \dots \\ \textit{pool postist 2} \\ \dots \\ \textit{pool postist 2} \\ \dots \\ \textit{riiv 2} \\ \dots \\ \textit{post 3} \end{matrix} \quad (\text{D.5})$$

Ühikepüüride korrutamiseks kasutame element-element korrutamist. Integreerime numbriliselt Simpsoni valemi järgi. Selleks korrutame element-element korrutamisega

saadud tulemuse skalaarselt vektoriga.

$$\mathbf{smps}^T = \frac{1}{6} * \begin{bmatrix} h/I2 \\ 4 * h/I2 \\ h/I2 \\ \dots \\ L/I1 \\ 4 * L/I1 \\ L/I1 \\ \dots \\ h2/I2 \\ 4 * h2/I2 \\ h2/I2 \\ \dots \\ h2/I2 \\ 4 * h2/I2 \\ h2/I2 \\ \dots \\ L/I1 \\ 4 * L/I1 \\ L/I1 \\ \dots \\ h2/I2 \\ 4 * h2/I2 \\ h2/I2 \end{bmatrix} \begin{matrix} post\ 1 \\ \dots \\ rii\ 1 \\ \dots \\ pool\ postist\ 2 \\ \dots \\ pool\ postist\ 2 \\ \dots \\ rii\ 2 \\ \dots \\ post\ 3 \end{matrix} \quad (D.6)$$

siin

$$\begin{aligned} h &= 4; & h2 &= h/2; \\ L &= 6; & L05 &= L/2; \\ I1 &= 2; & I2 &= 1; \end{aligned}$$

Jõumeetodi kanoonilise võrrandisüsteemi

$$\begin{bmatrix} \delta_{11}x_1 & \delta_{12}x_2 & \delta_{13}x_3 \\ \delta_{21}x_1 & \delta_{22}x_2 & \delta_{23}x_3 \\ \delta_{31}x_1 & \delta_{32}x_2 & \delta_{33}x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta_{1p} \\ -\Delta_{2p} \\ -\Delta_{3p} \end{bmatrix} \quad (D.7)$$

ehk

$$\delta_{ij}x_i = -\Delta_{ip} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (D.8)$$

koostab arvutiprogramm *Octave* ise ja ka lahendab. Saadud lahendit x_i ($i=1,2,3$) kasutame paindemomentide arvutamiseks.

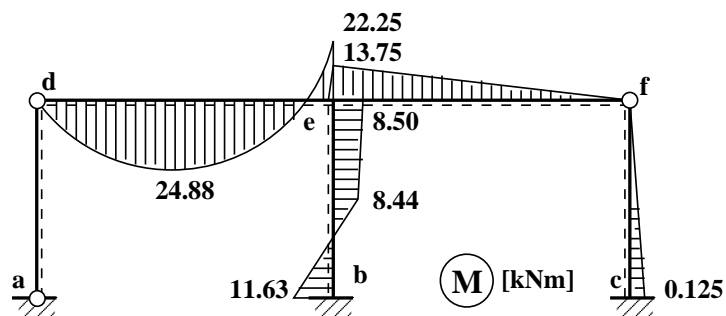
Paindemomendid arvutatakse ühikepüüride m_1, m_2, m_3 (vt joonist D.3) korrutamisega vastavate x_i -dega

$$M_p = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + M_p^0 \quad (D.9)$$

Võrrandi (D.9) kirjutame maatrikskujule

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_x \cdot \mathbf{x} + \mathbf{M}_p \quad (\text{D.10})$$

Saadud tulemuste põhjal koostame (programm D.1) epüüri (vt joonis D.4).



Joonis D.4. Paindemomendi epüür *Octave*'ga

Arvutustulemused D.1 jounNA.out on toodud leheküljel 67.
Programm D.1 jounNA.m on leheküljel 69.

Tulemus programmiga D.1 octave:1> diary jounNA.out

octave:2> diary on

octave:3> jounNA

M_x =

```

0.00000  0.00000  0.00000
0.00000  0.00000  0.00000
0.00000  0.00000  0.00000
0.00000  0.00000  0.00000
0.50000  0.00000  0.00000
1.00000  0.00000  0.00000
1.00000  0.00000 -1.00000
1.00000 -0.25000 -1.00000
1.00000 -0.50000 -1.00000
1.00000 -0.50000 -1.00000
1.00000 -0.75000 -1.00000
1.00000 -1.00000 -1.00000
0.00000  0.00000  1.00000
0.00000  0.00000  0.50000
0.00000  0.00000  0.00000
0.00000  0.00000  0.00000
0.00000  0.50000  0.00000
0.00000  1.00000  0.00000

```

M_p =

```

0
0
0
0

```

36
0
0
0
0
0
0
10
20
0
0
0
0
0
0

smpsT =

0.66667
2.66667
0.66667
0.50000
2.00000
0.50000
0.33333
1.33333
0.33333
0.33333
1.33333
0.33333
0.50000
2.00000
0.50000
0.66667
2.66667
0.66667

a =

5.0000	-2.0000	-4.0000
-2.0000	2.6667	2.0000
-4.0000	2.0000	5.0000

b =

56.000
-16.667
-20.000

x =

-22.25000
-0.12500

```

-13.75000

M =

  0.00000
  0.00000
  0.00000
  0.00000
 24.87500
-22.25000
 -8.50000
 -8.46875
 -8.43750
 -8.43750
  1.59375
 11.62500
-13.75000
 -6.87500
  0.00000
  0.00000
 -0.06250
 -0.12500

delta1 = 1.5032e-14
delta2 = -1.6376e-15
delta3 = -1.7764e-15
octave:4> diary off

```

Programm D.1 *journA.m*⁶

```

%journA.m
%
% Jõumeetod. Ühikepüüride abil võrrandisüsteemi kordajate ja
% vabaliikmete leidmine. Paindemomendi epüüri ordinaatide arvutamine.
%
%=====
% PROGRAMMI KOOSTAS Andres Lahe, 2003-03-26
%           e-mail: alahe@staff.ttu.ee
%           http://staff.ttu.ee/~alahe/
% Copyright (c) 2003 Tallinna Tehnikaülikool
%           Mehaanikainstituut
%           http://www.ttu.ee/
%
% Käesolev programm on vaba tarkvara. Te võite seda levitada ja/või muuta vastavalt
% GNU üldise avaliku litsentsi tingimustele, nagu need on sõnastanud
% Vaba Tarkvara Fond; kas litsentsi versioonis number 2 või (vastavalt
% Teie valikule) ükskõik millises hilisemas versioonis.
%
% Seda programmi levitatakse lootuses, et see on kasulik, kuid ILMA
% IGASUGUSE GARANTIITA; isegi KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI GARANTIITA
% või SOBIVUSELE TEATUD KINDLAKS EESMÄRGIKS.

```

⁶<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/octave/journA.m>

```

% Üksikasjade suhtes vaata GNU Üldist Avalikku Litsentsi.
%
% Te peaksite olema saanud GNU üldise avaliku litsentsi koopia koos selle
% programmiga, kui ei, siis kontakteeruge Free Software Foundation'iga.
% 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA
%
% Täpsemalt vaata GNU litsentsi: http://linux.ee/materjalid/gpl/
%=====
%
%
% Raami varras, millel on koondatud jõud, on jagatud kaheks. Nii tuleb 6 varrast.
% Igal vardal on kirjeldatud 3 ordinaati (alguses, keskel, lõpus). Kokku 3X6=18
% väärtust igalt epüürilt (ühikepüüridel=>a-sse ja Mp0 epüürilt=>f-i).
%=====
% Ühikepüüride ordinaadid
%=====
Mx=[0.0  0.0  0.0; % varras 1 (post)
    0.0  0.0  0.0;
    0.0  0.0  0.0;
    0.0  0.0  0.0; % varras 2 (riiv)
    0.5  0.0  0.0;
    1.0  0.0  0.0;
    1.0  0.0 -1.0; % varras 3 (pool postist, kus on koondatud jõud)
    1.0 -0.25 -1.0;
    1.0 -0.5  -1.0;
    1.0 -0.5  -1.0; % varras 4 (pool postist, kus on koondatud jõud)
    1.0 -0.75 -1.0;
    1.0 -1.0  -1.0;
    0.0  0.0  1.0; % varras 5 (riiv)
    0.0  0.0  0.5;
    0.0  0.0  0.0;
    0.0  0.0  0.0; % varras 6 (post)
    0.0  0.5  0.0;
    0.0  1.0  0.0]
%=====
MxT=Mx';
%=====
% Koormuse epüüri ordinaadid
%=====
Mp=[ 0; % varras 1 (post)
    0;
    0;
    0; % varras 2 (riiv)
    36;
    0;
    0; % varras 3 (pool postist, kus on koondatud jõud)
    0;
    0;
    0; % varras 4 (pool postist, kus on koondatud jõud)
    10;
    20;
    0; % varras 5 (riiv)

```

```

0;
0;
0; % varras 6 (post)
0;
0]
%=====
MpT=Mp';
%=====
% Simpsoni valemi kordajad
%=====
h=4;
h2=h/2;
L=6;
L05=L/2;
I1=2;
I2=1;
%=====
smptsT=1/6*[h;      % varras 1 (post)
            4*h;
             h;
            L/I1; % varras 2 (riiv)
            4*L/I1;
            L/I1;
            h2; % varras 3 (pool postist, kus on koondatud jõud)
            4*h2;
            h2;
            h2; % varras 4 (pool postist, kus on koondatud jõud)
            4*h2;
            h2;
            L/I1; % varras 5 (riiv)
            4*L/I1;
            L/I1;
            h; % varras 6 (post)
            4*h;
             h ]
%=====
smpts=smptsT';
%=====
%
% Võrrandisüsteemi kordajate maatriksi a leidmine

b1=MxT.*[MxT(1,:); MxT(1,:); MxT(1,:)]*smptsT;

b2=MxT.*[MxT(2,:); MxT(2,:); MxT(2,:)]*smptsT;

b3=MxT.*[MxT(3,:); MxT(3,:); MxT(3,:)]*smptsT;
%=====
a=[b1 b2 b3]
%=====
% Võrrandisüsteemi vabaliikmed
%=====
b=MxT.*[MpT; MpT; MpT]*smptsT

```

```

%=====
% Võrrandisüsteemi tundmatute leidmine
%=====
%x=-inv(a)*b % inv(a)- leiab 'a' pöördmaatriksi
x=-a\b % lahend on letud Gaussi elliminatsiooniga võrrandisüsteemist a*x=b
%      % võrrandisüsteemist a*x=b
%=====
% Momendiepüüri arvutamine
%=====
M=Mx*x+Mp
%=====
MT=M' ;
% Kinemaatiline kontroll
delta1=MxT(1,:).*MT*smpsT
delta2=MxT(2,:).*MT*smpsT
delta3=MxT(3,:).*MT*smpsT
% Suhtelise vea arvutamine
%pros1=delta1/( abs(MxT(1,:)).*abs(MT)*smpsT)*100
%pros2=delta2/( abs(MxT(2,:)).*abs(MT)*smpsT)*100
%pros3=delta3/( abs(MxT(3,:)).*abs(MT)*smpsT)*100

%%%%%%%%%%

```


Lisa E

Programmid

E.1 Eesarvude leidmine *Octave*'ga

Eesarvude leidmiseks kasutame *Octave* või MATLAB'i programmi *eesarvud.m*.

Märkus. Programm *Octave* on sarnane *Matlab*'iga (mõlemaga jookseb programm *eesarvud.m*.)

Octave'i kodulehekülg on <http://www.octave.org/octave.html>. *Octave*'i installeerimise kohta *MS Windows*'ile leiab viiteid minu kodulehelt <http://staff.ttu.ee/~alahe/>)

Järgneva programmi *eesarvud.m* teksti saab minu kodulehelt

<http://staff.ttu.ee/~alahe/>

Programm E.1 *eesarvud.m*¹

```
%eesarvud.m
%EESARVUD A, B, C, V, A+B, A-B
% varda piki-põikpaindel
%
%=====
% PROGRAMMI KOOSTAS Andres Lahe, 2001-01-22
%           e-mail: alahe@staff.ttu.ee
%           http://staff.ttu.ee/~alahe/
% Copyright (c) 2003 Tallinna Tehnikaülikool
%           Mehaanikainstituut
%           http://www.ttu.ee/
%
% Käesolev programm on vaba tarkvara. Te võite seda levitada ja/või muuta vastavalt
% GNU üldise avaliku litsentsi tingimustele, nagu need on sõnastanud
% Vaba Tarkvara Fond; kas litsentsi versioonis number 2 või (vastavalt
% Teie valikule) ükskõik millises hilisemas versioonis.
%
% Seda programmi levitatakse lootuses, et see on kasulik, kuid ILMA
% IGASUGUSE GARANTIITA; isegi KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI GARANTIITA
% või SOBIVUSELE TEATUD KINDLAKS EESMÄRGIKS.
% Üksikasjade suhtes vaata GNU Üldist Avalikku Litsentsi.
%
% Te peaksite olema saanud GNU üldise avaliku litsentsi koopiat koos selle
% programmiga, kui ei, siis kontakteeruge Free Software Foundation'iga.
% 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA
```

¹<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/octave/eesarvud.m>

```

%
% Täpsemalt vaata GNU litsentsi: http://linux.ee/materjalid/gpl/
%=====
%
%
l1='';mark='';S1='';EJ1='';xx='';xx1='';xxx='';xxxx='';yy='';x11x='';
xyyx='';xyL='';xyLy='';x11='';
l=0; S=0; EJ=0;
eps1=0.000001;
lukk='lahti';
lahti='lahti';
%%%Lehekülg nr.2 %%%%%%%%%%
if strcmp(lukk,lahti)
%disp(' VARDA TUNNUSARV PIKIPÕIKPAINDEL ')
% nu=input('Sisesta varda pikkus l=');
disp(' EESARVUD PIKIPÕIKPAINDEL ')
l=input('Sisesta varda pikkus l=');
l1=sprintf('%g',l);
end
lukk='lahti';
% märgi tingimus
mlukk='lahti' ;
mlahti='lahti';
if strcmp(mlukk,mlahti)
% märgi tingimus, edasi on end
mark='x';
mark1='-';
mark2='+';
niinaa = ((strcmp(mark,mark2))|(strcmp(mark,mark1))) ;
%
while ( niinaa - 1) ~= 0
mark='x';
%disp('')
%disp(' EESARVUD PIKIPÕIKPAINDEL ')
disp('Sisejõud S ')
disp('Survel:märk - ( S<=0, N<=0 ); Tõmbel:märk + ( S>=0, N>=0 ) ')
mark=input('Ütle kas + või - märk= ', 's');
niinaa = ((strcmp(mark,mark2))|(strcmp(mark,mark1))) ;
end
mlukk='lahti';
end
% märgi end
S=input('Ütle S-i väärtus. S=');
S1=sprintf('%g',S);
EJ=input('Ütle varda paindejäikus EJ=');
EJ1=sprintf('%g',EJ);
if S==0
nu=0;
else
nu=l*sqrt(S/EJ);
end
% Surve

```

```

%%%Lehekülg nr.3 %%%%%%%%%%
    if strcmp(mark1,mark) == 1
        if nu <=eps1
nu=nu+eps1; A=4.0+eps1; B=2.0+eps1; C=3.0+eps1; V=1.0+eps1;
AB=A+B; BA=A-B; ALFA=1/C; BETA=B/(A*C); S=0.0;
xx='  Pikijõud puudub : S= ';
% '   mõõt      S      ';
sdim=size(xx);
sdim1=sdim(2);
xx1(1,1:sdim1)=xx;
sdim2=sdim1+1;
mdim=size(mark);
mdim1=mdim(2);
markb1(1,1:mdim1)=mark;
mdim2=sdim1+mdim1;
xxx(1,1:sdim1)=xx1(1,1:sdim1);
xxx(1,sdim2:mdim2)=markb1(1,1:mdim1);
        else
            cs=cos(nu); ss=sin(nu);
            alumineA=2*(1-cs)-nu*ss;
            ulemineA=nu*(ss-nu*cs);
            A=ulemineA/alumineA;
            ulemineB=nu*(nu-ss);
            B=ulemineB/alumineA;
            ulemineC=nu*nu*ss;
            C=ulemineC/(ss-nu*cs);
            V=12*(2*(1-cs)-nu*ss)/(nu*ulemineC);
            AB=A+B; BA=A-B;
            ALFA=1/C; BETA=B/(A*C);
xx='  Pikijõud surve : S= ';
% '   mõõt      S      ';
sdim=size(xx);
sdim1=sdim(2);
xx1(1,1:sdim1)=xx;
sdim2=sdim1+1;
mdim=size(mark);
mdim1=mdim(2);
markb1(1,1:mdim1)=mark;
mdim2=sdim1+mdim1;
xxx(1,1:sdim1)=xx1(1,1:sdim1);
xxx(1,sdim2:mdim2)=markb1(1,1:mdim1);
%%%Lehekülg nr.4 %%%%%%%%%%
%
        end
    end
    %%%%%%%%%%
%   Tõmme
%   else
        if strcmp(mark2,mark) == 1
            if nu <=eps1
nu=nu+eps1; A=4.0+eps1; B=2.0+eps1; C=3.0+eps1; V=1.0+eps1;
AB=A+B; BA=A-B; ALFA=1/C; BETA=B/(A*C); S=0.0;

```

```

xx='  Pikijõud puudub : S= ';
% '  mõõt      S      ';
sdim=size(xx);
sdim1=sdim(2);
xx1(1,1:sdim1)=xx;
sdim2=sdim1+1;
mdim=size(mark);
mdim1=mdim(2);
markb1(1,1:mdim1)=mark;
mdim2=sdim1+mdim1;
xxx(1,1:sdim1)=xx1(1,1:sdim1);
xxx(1,sdim2:mdim2)=markb1(1,1:mdim1);
  else
    cs=cosh(nu); ss=sinh(nu);
    alumineA=-2*(1-cs)-nu*ss;
    ulemineA=nu*(ss-nu*cs);
    A=ulemineA/alumineA;
    ulemineB=nu*(nu-ss);
    B=ulemineB/alumineA;
    ulemineC=nu*nu*ss;
    C=ulemineC/(-(ss-nu*cs));
    V=12*(2*(1-cs)+nu*ss)/(nu*ulemineC);
    AB=A+B; BA=A-B;
    ALFA=1/C; BETA=B/(A*C);
xx='  Pikijõud tõmbel : S= ';
% '  mõõt      S      ';
sdim=size(xx);
sdim1=sdim(2);
xx1(1,1:sdim1)=xx;
sdim2=sdim1+1;
%%Lehekülg nr.5 %%%
mdim=size(mark);
mdim1=mdim(2);
markb1(1,1:mdim1)=mark;
mdim2=sdim1+mdim1;
xxx(1,1:sdim1)=xx1(1,1:sdim1);
xxx(1,sdim2:mdim2)=markb1(1,1:mdim1);
%
  end
end
%%
%välja trükkimiseks
sdim=size(xxx);
sdim1=sdim(2);
xxx(1,1:sdim1)=xxx;
sdim2=sdim1+1;
mdim=size(S1);
mdim1=mdim(2);
xS1(1,1:mdim1)=S1;
mdim2=sdim1+mdim1;
xxxx(1,1:sdim1)=xxx(1,1:sdim1);
xxxx(1,sdim2:mdim2)=xS1(1,1:mdim1);

```

```

xxxx=xxxx;
%
yy='';
yy=' Varda ristlõike paindejäikus EJ= ';
Edim=size(yy);
Edim1=Edim(2);
xyx(1,1:Edim1)=yy;
Edim2=Edim1+1;
Jdim=size(EJ1);
Jdim1=Jdim(2);
xEJ1(1,1:Jdim1)=EJ1;
Jdim2=Edim1+Jdim1;
xyyx(1,1:Edim1)=xyx(1,1:Edim1);
xyyx(1,Edim2:Jdim2)=xEJ1(1,1:Jdim1);
%
sdim=size(xxxx);
sdim1=sdim(2);
xxxx(1,1:sdim1)=xxxx;
sdim2=sdim1+1;
%%Lehekülg nr.6 %%%%%%%%%%
mdim=size(xyyx);
mdim1=mdim(2);
mdim2=sdim1+mdim1;
xllx(1,1:sdim1)=xxxx(1,1:sdim1);
xllx(1,sdim2:mdim2)=xyyx(1,1:mdim1);
%
    abcv=[nu A B AB C BA V];
    abca=[ALFA BETA];
disp(' ')
Y1='    nu    |    A    |    B    |    A+B    |    C    |    A-B    |    V    ';
disp('-----')
disp('-----')
    disp(xllx)
disp('-----')
    disp(Y1)
disp('-----')
disp(abcv)
%
yy='';
yy=' Varda pikkus l=';
Edim=size(yy);
Edim1=Edim(2);
xyL(1,1:Edim1)=yy;
Edim2=Edim1+1;
Jdim=size(l1);
Jdim1=Jdim(2);
x11(1,1:Jdim1)=l1;
Jdim2=Edim1+Jdim1;
xyLx(1,1:Edim1)=xyL(1,1:Edim1);
xyLx(1,Edim2:Jdim2)=x11(1,1:Jdim1);
%
Y2='    ALFA    |    BETA    |    ';
```

```

disp('-----')
disp('-----')
    disp(xyLx)
disp('-----')
    disp(Y2)
disp('-----')
    disp(abca)
%
%%kõik

```

Programm E.2 *eesagraf.m*²

```

%eesagraf.m
% Eesarvude (saksa k. vorzahlen) graafikud
% (piki-põikpaine, stabiilsus)
%=====
% PROGRAMMI KOOSTAS: Andres Lahe, 2000-03-21
%           e-mail: alahe@staff.ttu.ee
%           http://staff.ttu.ee/~alahe/
% Copyright (c) 2003 Tallinna Tehnikaülikool
%           Mehaanikainstituut
%           http://www.ttu.ee/
%
% Käesolev programm on vaba tarkvara. Te võite seda edasi levitada ja/või
% muuta vastavalt GNU Üldise Avaliku Litsentsi tingimustele, nagu need on
% Vaba Tarkvara Fondi poolt; kas Litsentsi versioon number 2 või (vastavalt
% Teie valikule) ükskõik milline hilisem versioon.
%
% Seda programmi levitatakse lootuses, et see on kasulik, kuid ILMA
% IGASUGUSE GARANTIITA; isegi KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI GARANTIITA
% või SOBIVUSELE TEATUD KINDLAKS EESMÄRGIKS.
% Üksikasjade suhtes vaata GNU Üldist Avalikku Litsentsi.
%
% Te peaks olema saanud GNU Üldise Avaliku Litsentsi koopiat koos selle
% programmiga, kui ei, siis kontakteeruge Free Software Foundation'iga,
% 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA
%
% Täpsemalt vaata GNU Litsentsi: http://linux.ee/materjalid/gpl/
%=====
%
%
disp(' Eesarvud survel ')
clear
    igr=1;
    eps1=0.000001;
disp(' Oota! Arvutan!! ')
for nu=0.0:0.02:10.0
    if nu <=eps1
        A=4.0+eps1; B=2.0+eps1; C=3.0+eps1; V=1.0+eps1; AB=A+B; BA=A-B;
        ALFA=1/C; BETA=B/(A*C);
    else

```

²<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/octave/eesarvud.m>

```

        cs=cos(nu); ss=sin(nu);
        alumineA=2*(1-cs)-nu*ss;
        ulemineA=nu*(ss-nu*cs);
        A=ulemineA/alumineA;
        ulemineB=nu*(nu-ss);
        B=ulemineB/alumineA;
        ulemineC=nu*nu*ss;
        C=ulemineC/(ss-nu*cs);
        V=12*(2*(1-cs)-nu*ss)/(nu*ulemineC);
        AB=A+B; BA=A-B;
        ALFA=1/C;
        BETA=B/(A*C);
    end
%%%%
    if A >= 15.0
        A = 15.0;
    end
    if A <= -15.0
        A = -15.0;
    end
%%%%
        ygr(igr,1)=A;
        ygr1(igr,1)=A;
    if B >= 15.0
        B = 15.0;
    end
    if B <= -15.0
        B = -15.0;
    end
        ygr(igr,2)=B;
        ygr2(igr,2)=B;
    if AB >= 15.0
        AB = 15.0;
    end
    if AB <= -15.0
        AB = -15.0;
    end
        ygr(igr,3)=AB;
        ygr3(igr,3)=AB;
    if C >= 15.0
        C = 15.0;
    end
    if C <= -15.0
        C = -15.0;
    end
        ygr(igr,4)=C;
        ygr4(igr,4)=C;

    if BA >= 15.0
        BA = 15.0;
    end
    if BA <= -15.0

```

```

        BA = -15.0;
    end
        ygr(igr,5)=BA;
        ygr5(igr,5)=BA;
    if V >= 50.0
        V = 50.0;
    end
    if V <= -50.0
        V = -50.0;
    end
        ygrV(igr)=V;
        xgr(igr)=nu;
    if ALFA >= 15.0
        ALFA = 15.0;
    end
    if ALFA <= -15.0
        ALFA = -15.0;
    end
        ygrALB(igr,1)=ALFA;
    if BETA >= 15.0
        BETA = 15.0;
    end
    if BETA <= -15.0
        BETA = -15.0;
    end
        ygrALB(igr,2)=BETA;
        xgr(igr)=nu;
        igr=igr+1;
    end
%%%
    ygrY=[0.0 0.0];
    ygrX=[0.0 10];
%
%clearplot
    axis([0.0 10.0 -20.0 20.0])
    axis('on')
%
% figure(1), axis([0.0 10.0 -20.0 20.0]), axis on;
figure(1)
    axis([0.0 10.0 -15.0 15.0])
    plot(xgr,ygr,ygrX,ygrY,'k')
%plot( xgr,ygr1,'k -',xgr,ygr2,'k --',xgr,ygr3,'k -.',...
xgr,ygr4,'k :',xgr,ygr5,'k -.', ygrX,ygrY,'k')
%
title('Eesarvud A, B, A+B, C, A-B surveil st. S>0, N<0 ')
    gset border 31
    gset xtics 2
    gset ytics 2.0
    gset nolabel
    xlabel('nu')
    text(5.9,2.7,'C')
% set label "C*" at graph 5.9, graph 2.7

```



```

        ygr(igr,1)=A;
%       ygr1(igr,1)=A;
    if B >= 20.0
        B = 20.0;
    end
%   if B <= -20.0
%       B = -20.0;
%   end
        ygr(igr,2)=B;
%       ygr2(igr,2)=B;
    if AB >= 20.0
        AB = 20.0;
    end
%   if AB <= -20.0
%       AB = -20.0;
%   end
        ygr(igr,3)=AB;
%       ygr3(igr,3)=AB;
    if C >= 20.0
        C = 20.0;
    end
%   if C <= -20.0
%       C = -20.0;
%   end
        ygr(igr,4)=C;
%       ygr4(igr,4)=C;

    if BA >= 20.0
        BA = 20.0;
    end
%   if BA <= -20.0
%       BA = -20.0;
%   end
        ygr(igr,5)=BA;
%       ygr5(igr,5)=BA;
    if V >= 20.0
        V = 20.0;
    end
    if V <= -10.0
        V = -10.0;
    end
        ygrV(igr)=V;
        xgr(igr)=nu;
    if ALFA >= 20.0
        ALFA = 20.0;
    end
%   if ALFA <= -20.0
%       ALFA = -20.0;
%   end
        ygrALB(igr,1)=ALFA;
    if BETA >= 20.0
        BETA = 20.0;

```

```

        end
%       if BETA <= -20.0
%           BETA = -20.0;
%       end
                ygrALB(igr,2)=BETA;
                xgr(igr)=nu;
        igr=igr+1;
    end
%%%
        ygrY=[0.0 0.0];
        ygrX=[0.0 15.0];
%
    axis('off')
    axis('on')
%       xyaxis=[0.0 10.0 -15.0 15.0];
        axis([0.0 10.0 -15.0 15.0])
%
clearplot
    axis('off')
        axis([0.0 10.0 -5.0 15.0])
    axis('on')
%%%
figure(4)
    axis([0.0 10.0 -5.0 15.0])
        plot(xgr,ygr,ygrX,ygrY,'k')
%plot( xgr,ygr1,'k -',xgr,ygr2,'k --',xgr,ygr3,'k -.',...
xgr,ygr4,'k :',xgr,ygr5,'k -.', ygrX,ygrY,'k')
%print -depsc figure5
%print -deps figure5m
title('Eesarvud A, B, A+B, C, A-B tmbel st. S<0, N>0 ')
    gset border 31
    gset xtics 2
    gset ytics 1.0
    gset nolabel
        xlabel('nu')
        text(4.7,2.0,'B')
        text(2.6,5.6,'A')
        text(2.6,7.5,'A+B')
        text(4.8,4.3,'C')
        text(2.3,3.5,'A-B')
%
%
replot
pause (1) % octave
%
clearplot
%
    axis('off')
        axis([0.0 10.0 -0.5 1.5])
    axis('on')
%%%
figure(5)

```

```

axis([0.0 15.0 -0.5 1.5])
    plot(xgr,ygrV,ygrX,ygrY,'k')
title('Eesarv V tõmbel st. S<0, N>0 ')
    gset border 31
    gset xtics 2
    gset ytics 0.2
    gset nolabel
        xlabel('nu')
        text(2.4,0.7,'V')
%
    ygrY=[0.0 0.0];
    ygrX=[0.0 15.0];
%
replot
pause (1) % octave
%
clearplot
%
figure(6)
axis([0.0 15.0 -0.1 0.4])
    plot(xgr,ygrALB(:,1),xgr,ygrALB(:,2),ygrX,ygrY,'k')
title('Eesarvud ALFA, BETA tõmbel st. S<0, N>0 ')
    gset border 31
    gset xtics 2
    gset ytics 0.05
    gset nolabel
        xlabel('nu')
        text(2.0,0.3,'ALFA')
        text(2.6,0.1,'BETA')
%
replot
pause (1) % octave
%
%clearplot
disp('Eesarvude graafikutest on kõik. ')

clearplot
clear
clc
%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%

```


Lisa F

GNU Üldine Avalik Litsents

GNU Üldine Avalik Litsents

Versioon number 2, juuni 1991

Autoriõigus (c) 1989, 1991 Free Software Foundation, Inc. 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA

Igaüks võib käesolevast dokumendist valmistada koopiaid ning valmistatud koopiaid levitada tingimusel, et need koopiaid vastavad originaaldokumendile sõnasõnalt.

EESSÕNA

Enamik tarkvara litsentse on loodud selleks, et võtta Teilt õigus tarkvara jagada ja muuta. Vastukaaluks on GNU Üldine Avalik Litsents mõeldud selleks, et tagada Teile vabadus jagada ja muuta vaba tarkvara - kindlustada, et tarkvara oleks vaba kõigile selle kasutajatele. Käesolev Üldine Avalik Litsents kehtib enamiku Free Software Foundation'i tarkvara ja mistahes programmide kohta, mille autorid lubavad seda litsentsi kasutada. (Mõni Free Software Foundation'i tarkvara on vastavalt kaitsitud GNU Üldise Avaliku Teegilitsentsiga). Ka Teie võite oma programmi suhtes käesoleva litsentsi tingimusi kehtestada.

Rääkides vabast tarkvarast peame silmas vabadust, mitte hinda. Üldised Avalikud Litsentsid on loodud selleks, et tagada Teile järgnevat: õigust levitada koopiaid vabast tarkvarast (soovi korral ka levitamise eest tasu võttes), tarkvara lähtetekstide kättesaadavust, õigust tarkvara muuta ning kasutada tarkvara osi uute vaba tarkvaratoodete loomisel ning kindlustada, et Te olete teadlik eelpoolnimetatud õigustest.

Teie õiguste tagamiseks on vaja rakendada mõningaid piiranguid, et keegi ei saaks Teilt neid õigusi ära võtta või nõuda Teie loobumist neist õigustest. Tarkvara muutmisel või selle koopiade levitamisel kätkevad need piirangud Teie jaoks teatud kohustusi. Näiteks levitades taolise programmi koopiaid, kas tasuta või levitamise eest tasu võttes, peate Te saajatele andma kõik need õigused, mis on ka Teil endal. Te peate kindlustama, et ka nemad saavad või võivad soovi korral saada lähteteksti. Et programmi saajad teaksid oma õigusi, peate neid teavitama käesoleva Litsentsi tingimustest.

Meie kaitseme Teie õigusi kaheastmeliselt:

1. anname tarkvarale autoriõiguse ja
2. pakume Teile käesolevat litsentsi, mis annab Teile seadusliku õiguse kopeerida, levitada ja/või muuta tarkvara.

Samuti tahame nii iga autori kui ka meie endi kaitseks kindlustada, et igati mõistab, et vabal tarkvaral pole garantiid. Kui keegi tarkvara muudab ja edasi annab, peavad selle saajad teadma, et nende omanduses pole originaal vältimaks teiste poolt põhjustatud probleemide mõju originaali autori mai-nele.

Lõpuks, iga vaba programmi ähvardab pidevalt tarkvara patenteerimine. Me soovime vältida ohtu, kus vaba programmi levitajad omandavad individuaalse patendi litsentsi, muutes selle enda omandiõiguse objektiks. Sellise olukorra vältimiseks oleme selgitanud, et iga taoline patent tuleb litsenseerida kõigile vabaks kasutamiseks või üldse mitte litsenseerida.

Järgnevad kopeerimise, levitamise ja muutmise täpsed terminid ning tingimused.

Kopeerimise, levitamise ja muutmise terminid ja tingimused.

0. Käesolev litsents kehtib iga programmi või muu teose puhul, mis sisaldab autoriõiguse omaniku märgel selle kohta, et antud programmi võib levitada vastavalt käesoleva Üldise Avaliku Litsentsi tingimustele. "Programm" on edaspidi ükskõik milline eelnevale tingimusele vastav programm või teos, "Programmil põhinev teos" tähendab kas Programmi või ükskõik millist autorikaitse all olevat programmil põhinevat teost; lahti seletatuna teost, mis sisaldab Programmi või selle osa, kas sõnasõnaliselt või muudetult ja/või tõlgituna teise keelde. (Siin ja edaspidi on tõlkimine kaasatud piiranguteta termini "muutmine" alla). Iga litsensiaat on edaspidi "Teie".

Litsents ei laiene muudele tegevustele kui kopeerimine, levitamine ja muutmine; need ei ole Litsentsiga kaetud. Programmi töötamise protsessil pole kitsendusi ja Programmi väljund on kaitstud vaid siis, kui selles sisaldub teos, mis põhineb Programmil (sõltumatuna sellest, et see on Programmi tööprotsessi poolt valmistatud). Kas see on tõene, sõltub sellest mida Programm teeb.

1. Teie võite kopeerida ja levitada sõnasõnalisi koopiaid Programmi lähtetekstist nii, nagu olete selle saanud, igas vormis, eeldusel, et Teie avaldate arusaadavalt ja sobivalt igal koopiaal vastava autoriõiguse märke ja garantii välistamise märke: hoiate puutumatusena kõik märged, mis viitavad käesolevale Litsentsile ja igasugusele garantii puudumisele ning annate kõigile Programmi saajatele käesoleva Litsentsi koopia Programmiga kaasa. Te võite võtta tasu koopia füüsilise kättetoimetamise akti eest ja võite oma valiku kohaselt pakkuda tasu eest omapoolset garantiikaitset.

2. Teie võite muuta Programmi koopiaid või ükskõik millist selle osa, luues nii Programmil põhineva teose ning kopeerida ja levitada selliseid muudatusi või teoseid vastavalt punkti 1 tingimustele, eeldades, et Te täidate kõik järgnevad tingimused:

a) Te peate kaasama muudetud failile silmatorkavad märged, mis teatavad Teie poolt tehtud muudatused failides ja iga muudatuse kuupäeva.

b) Te peate andma kõigile kolmandatele osapooltele selle Litsentsi tingimuste kohaselt Litsentsi tervikuna igasugusele teosele, mida Te levitate või avalikustate, mis tervikuna või osaliselt sisaldab Programmi või põhineb Programmil või selle osal.

c) Kui muudetud Programm loeb normaalse tööprotsessi käigus käskke interaktiivselt, peate Te tagama, et tavaliseks interaktiivseks kasutamiseks käivitamisel kõige tavapärasemal viisil kas trükitakse või kuvatakse märke, mis sisaldab vastatavat märgel autoriõigusest ja märgel garantii puudumise kohta (või märgel Teie poolt pakutava garantii kohta) ning et kasutajad võivad Programmi käesolevate tingimuste kohaselt edasi levitada, teatades kasutajale, kuidas näha koopiaid käesolevast Litsentsist. (Erand: Kui Programmi ise on interaktiivne, kuid tavapärase kasutamise protsessi käigus ei trüki sellist teadaannet, siis ei pea Teie Programmil põhinev teos vastavat teadaannet trükkima).

Need nõuded kehtivad muudetud teosele kui tervikule. Kui selgelt eristatavad osad teosest ei põhine Programmil ja neid võib põhjendatult lugeda iseseisvateks ja eraldiseisvateks teosteks, siis käesoleva Litsentsi ja selle tingimused ei laiene nimetatud osadele, kui Te levitate neid iseseisvate teostena. Kui Te levitate nimetatud osi kui osa tervikust, milleks on Programmil põhinev teos, siis terviku levitamine peab järgima käesoleva Litsentsi tingimusi, mille teistele litsensiaatidele antud õigused laienevad ülejäänud tervikule, seega igale üksikule osale, olenemata sellest, kes autor oli.

Seega pole käesoleva punkti eesmärk nõuda õigusi või vaidlustada Teie õigusi teosele, mille Te oled tervikuna loonud; pigem on eesmärk kasutada õigust suunata Programmil põhinevate teoste või ühisteoste levitamist.

Lisaks, ainuüksi asjaolu, et teise teose, mis ei põhine Programmil, Programmiga (või Programmil põhineva teosega) ühtsesse levitamise- või säilitusvormi liitmine ei muuda nimetatud teost Litsentsi alla kuuluvaks.

3. Teie võite Programmi (või punkt 2 kohaselt Programmil põhinevat teost) kopeerida ja levitada objektikoodina või käivitataval kujul vastavalt punktide 1 ja 2 kohaselt eeldusel, et Te täidate vähemalt

ühe järgnevatest nõuetest:

a) Lisate sellele täieliku vastava masinloetava lähteteksti, mida peab levitama vastavalt punktides 1 ja 2 toodud tingimustele, vormis, mida kasutatakse valdavalt tarkvara vahendustegevuses; või

b) Lisate sellele kirjaliku vormi, kehtivusega vähemalt kolm aastat, millega annad mistahes kolmandatele osapooltele tasu eest, mis ei ületa Teie poolt lähteteksti füüsilisel kujul levitamise hinda, täieliku masinloetava koopiat vastavast lähtetekstist, mida levitatakse vastavalt punktides 1 ja 2 toodud tingimustele, vormis, mida kasutatakse valdavalt tarkvara vahendustegevuses; või

c) Lisate sellele informatsiooni, mille Teie saate ja mis puudutab vastava lähteteksti levitamise pakkumist. (See alternatiiv on lubatud vaid mitteärilisel levitamisel, kui Te oled saanud Programmi koos vastava pakkumisega objektкодina või käivitatavas vormis vastavalt käesoleva punkti alapunktile b).

Teose lähteteksti all mõeldakse muudatuste tegemiseks eelistatumat teose vormi. Käivitava teose täielik lähtetekst tähendab kogu lähteteksti tervikuna koos kõigi selles sisalduvate moodulitega, lisades ükskõik millised sellega seotud liidese definitsioonifailid ning skriptid, mida kasutatakse käivitava teose kompileerimise ja paigaldamise kontrollimiseks. Erandina ei pea levitav lähtetekst sisaldama midagi, mida tavaliselt levitatakse kas lähteteksti või masinkoodi vormis) koos põhiliste operatsioonisüsteemi komponentidega (kompilaator, kernel ja nii edasi), millel käivitava töö protsess toimub, välja arvatud kui nimetatud komponent ise lisandub käivitavale.

Kui käivitava vormi või objektкодi levitamine toimub ligipääsu pakkumisega määratud kohas, siis ligipääsu pakkumine lähteteksti kopeerimiseks samast kohast loetakse võrdseks lähteteksti levitamisega, kuigi kolmandad osapooled pole kohustatud kopeerima lähteteksti koos objektкодiga.

4. Te ei tohi kopeerida, muuta, edasi litsenseerida või levitada Programmi välja arvatud juhul, kui seda lubab käesolev Litsents. Igasugune muu katse kopeerida, muuta, sublitsenseerida või levitada Programmi on õigustühine ja peatab automaatselt Teile käesoleva Litsentsiga antud õigused. Siiski, osapoolte, kes on saanud Teilt koopiad või õigused käesoleva Litsentsi alusel, litsentsid ei kaota kehtivust nii kaua, kuni taolised osapooled täidavad täielikult kehtestatud tingimusi.

5. Teilt ei nõuta Litsentsi aktsepteerimist, kuna Te pole sellele alla kirjutanud. Kuid miski muu peale käesoleva Litsentsi ei anna Teile õigust muuta või levitada Programmi või Programmil põhinevat teost. Need tegevused on seadusega keelatud, kui Te ei aktsepteeri käesoleva Litsentsi tingimusi. Sellest tulenevalt Programmi (või igasugust Programmil põhinevat teost) muutes või levitades annate Teie märku nõustumisest Litsentsi terminite ja tingimustega Programmi või Programmil põhineva teose kopeerimisel, levitamisel või muutmisel.

6. Iga kord kui Te levitate Programmi (või ükskõik millist Programmil põhinevat teost), saab saaja automaatselt originaallitsensiaarilt litsentsi kopeerida, levitada ja muuta Programmi vastavalt käesoleva Litsentsi terminitele ja tingimustele. Teie ei või kehtestada lisapiiranguid vastuvõtjale antud õiguste kasutamisele. Teie ei vastuta käesoleva Litsentsi täitmise eest kolmandate osapoolte poolt.

7. Kui kohtulahendi või väidetava patendiõiguse rikkumise tagajärjel või mõnel muul põhjusel (mis ei piirdu patendiga seotud küsimustega) on Teile pandud kohustus, mis on vastuolus käesoleva Litsentsi tingimustega, siis ei vabasta need Teid käesoleva Litsentsi tingimuste täitmisest. Kui Te ei suuda levitada, samaaegselt täites käesoleva Litsentsi tingimusi ja teisi kohustusi, siis ei tohi Te Programmi üldse levitada. Näiteks kui patendilitsents ei luba Teil litsentsitasuta Programmi edasi levitada neile, kes on saanud Teilt või Teie kaudu Programmi koopiat, siis ainus võimalus täita nimetatud patendilitsentsi ja käesoleva Litsentsi tingimusi on loobuda Programmi levitamisest.

Kui käesoleva punkti mõni osa osutub mingil asjaolul kehtetuks või mitterakendatavaks, siis käesoleva punkti ülejäänud osa loetakse rakendatavaks ja punkt tervikuna loetakse rakendatavaks ülejäänud tingimustel.

Käesoleva punkti eesmärk ei ole kellegi ajendamine patendi- või muude õiguste rikkumiseks või nende kehtivuse vaidlustamiseks; käesoleva punkti ainus eesmärk on vaba tarkvara levitamise süsteemi terviklikkuse kaitsmine, mida kasutavad avalike litsentside kasutajad. Paljud isikud on andnud suure panuse tarkvara laiale sektorile, mida levitatakse läbi nimetatud süsteemi usaldades järjekindlat süsteemi rakendumist; autor/annetaja on otsustaja, kas ta soovib tarkvara levitada mõne teise süsteemi kaudu ja litsensiaat ei saa seda valikut mõjutada.

Selle punkti eesmärk on täpselt selgitada, mida soovitakse käesoleva Litsentsi ülejäänud osaga saavutada.

8. Kui Programmi levitamist ja/või kasutamist piiratakse mõnedes riikides kas patentide või autoriõigusega, võib autoriõiguse omanik, kes on Programmi litsenseerinud, lisada kindla geograafilise piirangu, jättes nimekirjast välja mainitud riigid, et levitamine oleks lubatud vaid nimekirjas toodud riikides või riikide vahel. Nimetatud juhul Litsents liitub piiranguga, nagu see on ära toodud käesoleva Litsentsi põhiosas.

9. Free Software Foundation võib aegajalt välja anda ümbertöötatud ja/või uusi versioone Üldisest Avalikust Litsentsist. Need uued versioonid on käesoleva Litsentsi versiooniga sarnase sisuga, kuid võivad erineda detailides, osundades uusi probleeme või huviobjekte.

Igale versioonile antakse unikaalne versiooninumber. Kui programmis tuuakse ära selle kohta kehtiva käesoleva litsentsi versiooninumber ja lisatakse märged "kõik hilisemad versioonid", siis on teil võimalik valida, kas järgida selle või ükskõik millise hilisema Free Software Foundation'i poolt avaldatava versiooni tingimusi. Kui Programm ei täpsusta käesoleva litsentsi versiooninumbrit, on Teil võimalus valida ükskõik milline Free Software Foundation'i poolt avaldatud käesoleva Litsentsi versioon.

10. Kui Te soovite Programmi osi liita teiste vabade programmidega, mille levitamise tingimused on erinevad, siis kirjutage loa saamiseks autorile. Tarkvara puhul, mis on autoriõigusega kaitstud Free Software Foundation'i poolt, kontakteeruge Free Software Foundation'iga, mõnikord me teeme erandeid. Meie otsuse määravad kaks eesmärki: säilitada vaba staatus meie vaba tarkvara igasugustele derivaatidele ja edendada tarkvara jagamist ning taaskasutamist üldiselt.

GARANTII PUUDUMINE

11. KUNA PROGRAMM ON LITSENSEERITUD TASUTA, PUUDUB PROGRAMMIL IGASUGUNE GARANTII ULATUSENI, MIDA LUBAB RAKENDATAV SEADUS. KUI KIRJALIKULT POLE TEISITI SÄTESTATUD, SIIS AUTORIÕIGUSE OMANIKUD JA/VÕI MUUD OSAPOOLED PAKUVAD PROGRAMMI "NII, NAGU TA ON" ILMA IGASUGUSE VÄLJENDATUD VÕI OLETATAVA GARANTIITA, KAASA ARVATUD, KUID MITTE AINULT, KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI JA MINGILE KINDLALE EESMÄRGILE SOBIVUSE GARANTIITA. KOGU PROGRAMMI KVALITEEDI JA TOIMIMISE RISK LANGEB TEILE. KUI PROGRAMM ON PUUDULIK, KANNATE TEIE KÕIK TEENINDUSE, PARANDUSE VÕI TAASTAMISE KULUD.

12. MITTE MINGIL JUHUL, VÄLJA ARVATUD SIIS, KUI SEDA NÕUAB RAKENDATAV SEADUS VÕI KIRJALIKULT ON TEISITI KOKKU LEPITUD, POLE ÜKSKI AUTORIÕIGUSE OMANIK VÕI KOLMAS OSAPPOOL, KES VÕIB MUUTA JA/VÕI LEVITADA PROGRAMMI VASTAVALT ÜLALPOOL TOODUD TINGIMUSTELE, TEIE EES VASTUTAV KAHJUSTUSTE EEST, KAASA ARVATUD IGASUGUSED ÜLDISED, SPETSIIFILISED, JUHUSLIKUD VÕI TAGAJÄRJEL TEKKINUD KAHJUD, MIS TULENEVAD KAS PROGRAMMI KASUTAMISEST VÕI VÕIMATUSEST PROGRAMMI KASUTADA (KAASA ARVATUD, KUID MITTE AINULT, TEIE VÕI KOLMANDATE OSAPPOOLTE ANDMETE KADUMINE VÕI ANDMETE MUUTMINE VÕI PROGRAMMI VÕIMETUS TÖÖTADA KOOS MISTAHES TEISTE PROGRAMMIDEGA), ISEGI SIIS, KUI VALDAJAT VÕI MUUD OSAPPOOLT ON TEAVITATUD SELLISTE KAHJUDE VÕIMALIKKUSEST.

Terminite ja tingimuste lõpp.

Kuidas rakendada oma uutele programmidele neid termineid ja tingimusi?

Kui Te loote uue programmi ja soovite, et sellest oleks võimalikult laiale üldsusele kasu, on parim võimalus selleks muuta oma tarkvara vabaks, mida igati saaks edasi levitada ja muuta vastavalt käesolevatele tingimustele.

Et seda teha, lisage oma programmile järgnevad märkused. Kindlaim on lisada need märked iga lähtefaili algusse, et võimalikult efektiivselt teatada garantii puudumisest: igal failil peaks olema vähemalt üks "autoriõiguse" rida ja viide kohale, kust võib leida tervikliku märkuse.

Üks rida, mis sisaldab programmi nime ja otstarbe lühikirjeldust.

Copyright (C) YYYY autori nimi

Käesolev programm on vaba tarkvara. Te võite seda edasi levitada ja/või muuta vastavalt GNU Üldise Avaliku Litsentsi tingimustele, nagu need on Vaba Tarkvara Fondi poolt avaldatud; kas Litsentsi versioon number 2 või (vastavalt Teie valikule) ükskõik milline hilisem versioon.

Seda programmi levitatakse lootuses, et see on kasulik, kuid ILMA IGASUGUSE GARANTIITA; isegi KESKMISE/TAVALISE KVALITEEDI GARANTIITA või SOBIVUSELE TEATUD KINDLAKS EESMÄRGIKS. Üksikasjade suhtes vaata GNU Üldist Avalikku Litsentsi.

Te peaks olema saanud GNU Üldise Avaliku Litsentsi koopia koos selle programmiga, kui ei, siis kontakteeruge Free Software Foundation'iga, 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA

Samuti lisa informatsioon, kuidas Teiega kontakteeruda kas posti või meili teel.

Kui programm on interaktiivne, siis lisage väljundisse käivitamisel kuvatav märkus:

Gnomovision versioon 69, Copyright (C) aastaarv, autori nimi

Gnomovision on ILMA IGASUGUSE GARANTIITA; detailidega tutvumiseks trüki "show w". See on vaba tarkvara ja sa oled teretunud seda edasi levitama teatud kindlate tingimuste alusel; detailidega tutvumiseks trüki "show c".

Hüpoteetilised käsud "show w" ja "show c" peaksid olema vastavad osad GNU Üldisest Avalikust Litsentsist. Muidugi võivad Teie poolt kasutatavad käsud olla teise nimetusega kui "show w" või "show c"; need võivad olla isegi hiireklõpsud või menüü osad - ükskõik, mis sobib Teie programmiga.

Kui Te töötate programmeerijana, peaksite Te laskma oma tööandjal või koolil alla kirjutada autoriõiguslike pretensioonide loobumise kohta käivale dokumendile. Siin on näidis, muutke ise nimed:

Yoyodyne, Inc., loobub kõigist autoriõigustest programmile Gnomovision, mille on kirjutanud James Hacker.

See Üldine Avalik Litsents ei anna õigust liita Teie programmi omandiõiguslike programmidega. Kui Teie programm on alamfunktsioonide teek, on Teil kasulikum lubada linkimist teegiga. Kui Te tahate seda teha, siis kasutage GNU Üldist Avalikku Teegilitsentsi käesoleva Litsentsi asemel.

GNU Üldine Avalik Litsents on leheküljelt
<http://wiki.linux.ee/phpwiki/GNU>
<http://linux.ee/materjalid/gpl/>
<http://hasso.linux.ee/linux/lgpl.php>
<http://hasso.linux.ee/linux/gpl.php>

GNU Üldise Avaliku Litsentsi kohta saab lugeda

- Vaba tarkvara:
<http://kuutorvaja.eenet.ee/tutvustus/gnulinux.html>
- K. Kikkas.Intelektuaalomand ja ITK:
<http://www.kakupesa.pri.ee:8080/akadeemia/arhiiv/VR1/loengud/loeng5>

- T. Dovnar. Tarkvara patendid Ameerikas, Euroopas ja Eestis (Diplomitöö):
<http://www.juura.ee/txt/tarkvarapatendid.pdf>
- <http://www.dsl.org/>
- <http://www.gnu.ai.mit.edu/philosophy/philosophy.html>
- <http://www.gnu.org/philosophy/license-list.html#SoftwareLicenses>
- <http://www.dsl.org/copyleft/non-software-copyleft.shtml#what>
- <http://www.dsl.org/copyleft/non-software-copyleft.shtml>
- <http://www.dsl.org/copyleft/>
- <http://opencontent.org/opl.shtml>

Kirjandus

- [EP67] R. Eek, L. Poverus. *Ehitusmehaanika II*. Tallinn: Valgus, 1967. [A.8](#)
- [ER83] R. Eek, R. Räämet. Ehitusmehaanika näidis ülesanded I. Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut, 1983. [\(document\)](#)
- [ERL85] R. Eek, R. Räämet, A. Lahe. Ehitusmehaanika näidis ülesanded II. Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut, 1985. [\(document\)](#)
- [ER77] R. Eek, R. Räämet. Ehitusmehaanika näidis ülesanded III. Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut, 1977. [\(document\)](#)
- [Rää75] R. Räämet. *Ehitusmehaanika*. Tallinn: Valgus, 1975. [\(document\)](#), [C.1](#)
- [RT83] R. Räämet, Ü. Tärno. *Ehitusmehaanika. Programm ja kontrolltööde ülesanded*. Tallinn: TPI Ehitusmehaanika kateeder, 1983. [\(document\)](#)
- [ERL88] *P. Ряэмет, Р. Еек, А. Лахе. Строительная механика. Программа и задачи*. Tallinn: ТПИ кафедры строительной механики, 1988. [\(document\)](#)
- [Ter86] Terasprofiilide tabelid. Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut, 1986. [B.2](#), [B.2](#)

Aineregister

- alaline koormus, 17
- arvutiprogramm
 - eesagraf.m, 78
 - eesarvud.m, 73
 - joumNA.m, 69
- eesarvud, 51, 73
- eesarvud tõmbel, 52
- fiktiivsed koormused, 60
- fiktiivsed toereaktsioonid, 60
- fookussuhted, 59
- geomeetrilise määramatuse aste, 55
- jätkuvtala staatilise määramatuse aste, 59
- kaare telgjoon, 21, 49
- kinnitusemomendid, 56
- kolme momendi võrrand, 59
- lihtliigendid, 49
- mõjujoon, 45
- nõtketegur, 43, 51
- pööre, 29
- põikjõu märgi määramine, 47
- raam
 - põhiskeem, 63
 - raam kolme liigendiga, 25
 - raami posti kõrgus, 25
 - raami staatikaga määramatuse aste, 36
 - raami vabadusaste, 55
- sõrestiku kõrgus, 26
- sõrestiku paneel, 26
- sõrestiku paneeli pikkus, 26
- sõrestiku sõlmkoormus, 28
- siirete arvutus, 29
- staatikaga määramatuse aste, 49
- tala mõõtmed, 16
- tala põhi- ja lisaosa, 15
- tala põikjõu mõjujooned, 45
- tala paindemomendi mõjujooned, 45
- tala sille, 15, 17, 38, 39
- tala toereaktsioonide mõjujooned, 45
- talasõestik, 27, 29
- tunnusarv, 43, 51
- varda ristlõike inertsimoment, 33
- varda tunnusarv, 51
- vektor
 - element-element korrutis, 65
 - skalaarkorrutis, 66
- vertikaalsiire, 29