

Tapio Hatulainen

RAKENNUSSTATIIKAN PERUSTEET,
VERKKO-OPISKELUMATERIAALIA

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Teknisen journalismin suuntautumisvaihtoehto
2009



RAKENNUSSTATIIKAN PERUSTEET, VERKKO-OPISKELUMATERIAALIA

Hatulainen, Tapio
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2009
Koskinen, Jussi
UDK: 004.738.5, 378.6, 624.04
Sivumäärä: 24 sivua + 49 liitesivua

Asiasanat: oppimateriaali, rakennustekniikka, statiikka, verkko-opiskelu

Tämän projektimuotoisen opinnäytetyön aiheena oli tehdä Satakunnan ammattikorkeakoululle rakennusstatiikan verkko-opiskelumateriaalia. Oppimateriaalien valmis-
tuksessa piti erityisesti kiinnittää huomiota teorioiden soveltamiseen käytäntöön. Li-
säksi oli huomioitava uusien opiskelijoiden vähäinen alan työkokemus ja siten vä-
häinen rakennustekniikan tuntemus.

Statiikka on yksi rakennustekniikan kulmakivistä. Sen perusteellinen osaaminen on
insinööreille välttämätöntä, erityisesti suunnittelutehtävissä. Tämän vuoksi statiikan
opetukseen ja opetusmateriaalien laatuun kannattaa panostaa. Vaikka statiikasta ja
mekaniikasta on olemassa paljon kirjallisuutta, ei nimenomaisesti rakennustekniik-
kaan keskittyvää aineistoa juurikaan ole saatavilla. Vanhana tieteenalana statiikasta
tehdyt materiaalit eivät myöskään vanhene, mikä entisestään kannustaa aineistojen
valmistukseen.

Nykyaikana opetus on yhä enemmän siirtymässä internetiin, minkä vuoksi oli luon-
nollista tehdä nämäkin aineistot verkkomuotoon. Internetissä aineistojen jako ja päi-
vittäminen on helppoa. Lisäksi se mahdollistaa myös tehokkaan etä- ja itseopiskelun.

Projekti koostui Rakennusstatiikan opetusmateriaalien kirjoittamisesta ja oppimista
tukemaan tarkoitettujen animaatioiden ja muiden havainnollistamiskeinojen tekemi-
sestä. Lisäksi projektin aikana tehtiin Rakennustekniikan kuvapankki, joka myös
osaltaan perehdyttää uusia opiskelijoita rakennustekniikan eri osa-alueisiin.

Projektin lopulliset tulokset ovat nähtävillä vasta tulevaisuudessa, kun tuotettua ai-
neistoa on päästy käyttämään opetuksessa. Tämän hetkisen tilanteen mukaan voidaan
kuitenkin arvioida, että projektin lopputuotteena syntyneet aineistot ovat hyvä perus-
ta, joiden pohjalta voidaan lähteä jalostamaan yleispätevää ja kansainväliseenkin
käyttöön soveltuvaa tietopakettia.

FUNDAMENTALS OF CONSTRUCTION STATICS, ON-LINE STUDYING MATERIAL

Hatulainen, Tapio

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

May 2009

Koskinen, Jussi

UDC: 004.738.5, 378.6, 624.04

Number of pages: 24 pages + 49 appendices

Key words: educational material, construction engineering, statics, on-line studying

The purpose of this project-oriented thesis was to create construction statics on-line studying material for Satakunta University of Applied Sciences. Special focus in the preparation of the studying materials was on the application of the theory into practice. In addition, the small amount of work experience most new students have and their slight knowledge about construction in general were to be kept in mind during the project.

Statics is one of the main corner-stones of modern construction engineering. The thorough knowledge of statics is a necessity for any engineer but especially for those working in the designing field. Therefore, it is worth investing in the teaching of statics and in the quality of its studying material. Although there is a lot of literature concerning statics and mechanics, very little material of construction statics in particular is available. Because statics is an old field, the materials made about it will not outdate, which was an additional motivator in this project.

Modern education is increasingly concentrated on the internet, which makes it natural to make these materials web-based, too. Sharing and updating material on the internet is easy. Furthermore, it enables efficient distant and self-learning.

This project consisted of writing the construction statics studying materials and making several animations and other demonstration means that are aimed to support the studying process. Moreover, during the project a web-based photo gallery was made to assist in introducing the many fields of construction engineering to new students.

The final results of the project can only be seen in the future when the produced materials have been tested in practice. Estimations made according to the current situation, however, give a good reason to state that the materials produced during this project are a good basis which can be developed to be universally applicable studying materials even for international use.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	4
2	PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	4
2.1	Opetusmateriaalien nykyaikaistaminen	4
2.2	Opiskelijan motivoiminen.....	5
2.3	Korkeakoulujen välinen yhteistyö	5
3	OPINTOJAKSON RAKENTAMINEN MOODLEEN	6
3.1	Moodle	6
3.2	Sisällön tuottaminen	9
3.2.1	Tekstit.....	12
3.2.2	Kuvat	13
3.2.3	Animaatiot.....	16
4	ONGELMIA.....	17
4.1	Tekstit	17
4.2	Kaavat	20
5	RAKENNUSTEKNIIKAN KUVAPANKKI.....	20
6	PROJEKTIN LOPPUTULOKSET	22
	LÄHTEET	24
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Statiikasta, ja laajemmin mekaniikasta, on kirjoitettu suhteellisen paljon aineistoa. Mekaniikan ensimmäiset teoriat on kehitetty jo ennen ajanlaskun alkua ja nykymuotoonsa ne on kirjoitettu pääosin sir Isaac Newtonin toimesta 1600-luvulla^{/1 s.13/}. Nämä aineistot sekä niihin pohjautuvat muut teokset ja oppikirjat käsittelevät aihetta kuitenkin lähinnä vain yleisellä tasolla. Erityisesti rakennusstatiikkaan keskittyviä tuoksia on erittäin vähän. Lisäksi aineistoja vaivaa tietty vanhanaikaisuus, mikä on ymmärrettävää, koska kyseessä olevat teoriat on kehitetty vuosisatoja sitten.

Nykyajan ajoittain jopa hektisessä maailmassa elävän opiskelijan kynnys tutustua kirjaan, jonka perimmäisenä lähteenä on vuonna 1687 julkaistu teos (Isaac Newtonin Principia), on varmasti korkea. Lienee siis selvää, että nykyaikaiselle ja opiskeluun innostavalle materiaalille oli suuri tarve. Koska statiikan säännöt ja ilmiöt muuttumattomia, ei niiden sisältö vanhene. Laadukkaan opetusmateriaalin tuottamiseen kannattaa siksi panostaa^{/2/}.

Sain Satakunnan ammattikorkeakoulun koulutusjohtaja Jussi Koskiselta (DI) tehtäväkseni luoda hänen valvonnassaan rakennusstatiikan perusteiden verkko-opetusmateriaalia Satakunnan ammattikorkeakoulun käyttöön.

Projektin luonne ja toteutustavat muuttuivat muutamaan otteeseen työn edetessä, etsittäessä sopivaa toteutuskanavaa. Lopulta päädyttiin toteuttamaan materiaalit Moodle-verkko-oppimisalustalle. SAMK on keskittämässä verkko-opetustaan Moodleen ja siten se toimii luonnollisena jakelukanavana tämänkaltaiselle opetusmateriaalille. Verkkokurssin nimeksi annettiin *Rakennusstatiikan perusteet, verkko-opiskelumateriaalia*.

Moodle-verkkokurssin lisäksi, varsinaisen projektin sivutuotteena, kehitin *Rakennustekniikan kuvapankin*, jonka on osaltaan tarkoitus korvata aloittelevien opiskelijoiden työkokemuksen vähäisyyttä.

Tekemäni työn on tarkoitus toimia pohjana, jonka päälle voidaan tulevaisuudessa lähteä helposti rakentamaan yhä laajempaa ja kattavampaa aineistoa. Verkkomuotoisuutensa vuoksi materiaalia on myös helppo jakaa muiden oppilaitosten kanssa, sekä esitellä sitä yritysmaailman vaikuttajille ja sen kautta jalostaa aineistoa vastaamaan entistä paremmin työelämän vaatimuksiin.

Myöhemmin tässä opinnäytetyössä viitattaessa Satakunnan ammattikorkeakoulun Moodle-kurssiin *Rakennusstatiikan perusteet*, verkko-opiskelumateriaalia käytetään selkeyden vuoksi lyhyempää nimitystä *statiikan verkkomateriaalit*.

2 PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

2.1 Opetusmateriaalien nykyaikaistaminen

Tarve rakennusstatiikan verkko-opintomateriaalien luomiseen lähti opetuskäyttöön soveltuvien materiaalien vähäisyydestä ja vanhanaikaisuudesta. Suurin osa tarjolla olevista oppikirjoista on kirjoitettu useita vuosia, jopa vuosikymmeniä sitten, eivätkä ne kannusta opiskelijoita itsenäiseen opiskeluun. Usein näiden materiaalien täysi ymmärtäminen edellyttää lukijaltaan runsasta työelämän kokemusta aihepiiristä. Suurimmalla osalla aloittavista opiskelijoista työkokemus on hyvin vähäistä^{/2/}.

Opetusmateriaalien nykyaikaistamiseen kannustavat myös tekniikan tarjoamat uudet mahdollisuudet ja vaatimukset. Tekniikan kehittyessä on syntynyt paitsi keinoja, myös tarve, havainnollistaa asioita tietotekniikan keinoin. Statiikan perusilmiöiden mallintamien ja esittäminen kuvien ja animaatioiden avulla tarjoaa erinomaiset mahdollisuudet syventää oppimista ja parantaa oppimistuloksia. Kuormien, voimien, rasi-
tusten, tukien ja erilaisten palkkien toimintaa kuvaavat animaatiot ja muut vastaavat havainnollistamiskeinot ovat hyviä vaihtoehtoja perinteisille viivapiirroksille.^{/2/}

2.2 Opiskelijan motivoiminen

Projektin tavoitteena on saada aikaan helposti päivitettävät verkko-opetusmateriaalit, jotka ohjaavat ja motivoivat opiskelijaa ja siten nopeuttavat opinnoissa etenemistä, johtaen lopulta nopeaan valmistumiseen^{/2/}. Materiaalien on oltava helppolukuisia ja helposti sisäistettäviä, jotta kaikki opiskelijat voisivat helposti oppia aiheen ydinasiat. Helposti lähestyttävä aineisto myös kannustaa itsenäiseen opiskeluun.

Opiskelijaa halutaan myös ohjata asioiden laajempaan ymmärtämiseen. On esimerkiksi hahmotettava palkin jännevälän kasvun vaikutukset taipumaan, momenttiin ja sitä kautta kustannuksiin.^{/2/}

2.3 Korkeakoulujen välinen yhteistyö

Statiikan verkkomateriaaleja on tulevaisuudessa tarkoitus kehittää yhdessä muiden ammattikorkeakoulujen kanssa. Verkkopohjaisten materiaalien jako oppilaitosten välillä on helppoa ja vuorovaikutteinen aineiston käyttö tarjoaa tehokkaan keinon jalostaa sitä edelleen.^{/2/} Samalla voidaan varmistaa aineiston jatkuva ajantasaisuus ja oikeellisuus.

Pitkän tähtäimen tavoitteeksi Satakunnan ammattikorkeakoulu on asettanut yhteistyön eurooppalaisten oppilaitosten kanssa. Keski-Euroopan statiikan opetus merkintätapoineen on hyvin lähellä suomalaista opetustapaa, joten yhteisten materiaalien kehittämiseksi on olemassa hyvät edellytykset.^{/2/}

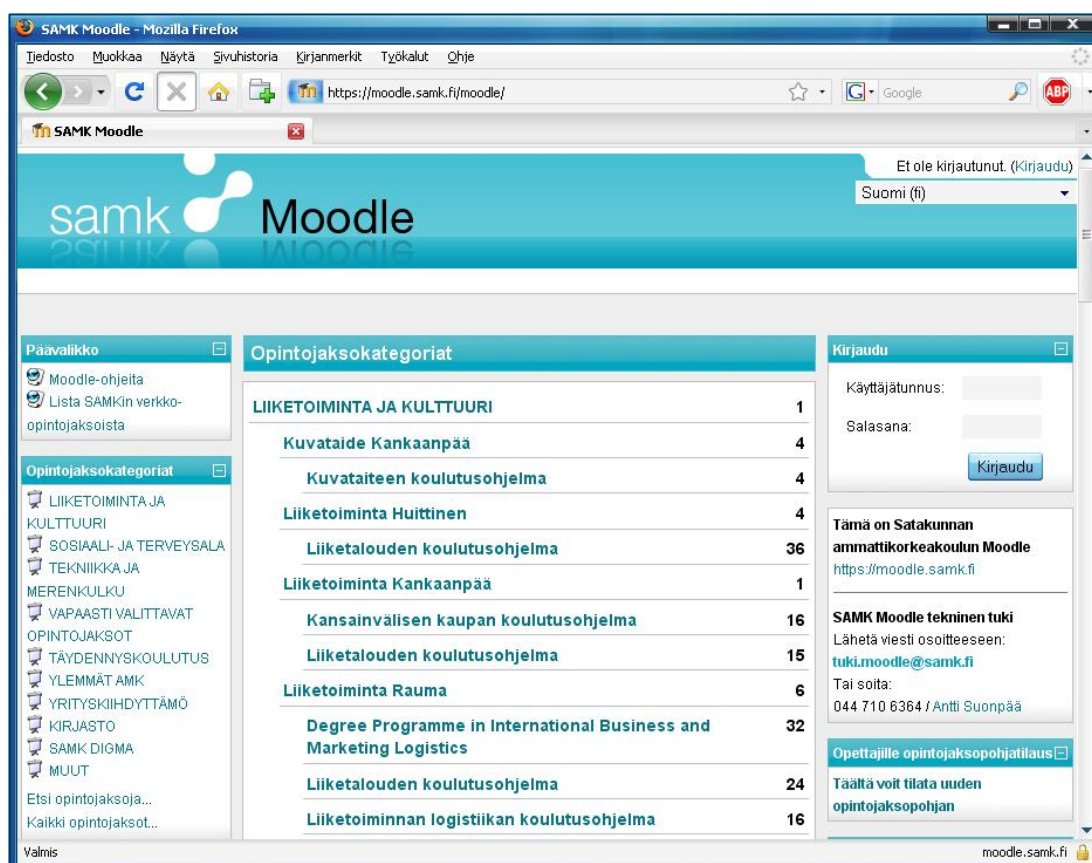
Eurooppalaista yhteistyötä silmällä pitäen on aineistoon kerätty tärkeimpien statiikan sanojen englanninkielisiä käännöksiä. Suunnitteilla on myös aineiston kääntäminen kokonaan englanniksi^{/2/}.

3 OPINTOJAKSON RAKENTAMINEN MOODLEEN

3.1 Moodle

Moodle on internetissä toimiva avoimeen lähdekoodiin perustuva virtuaalinen oppimisympäristö. Se on kansainvälisessä käytössä oleva. Moodle mahdollistaa muun muassa yhteisöllisen sisällöntuottamisen, interaktiivisen osallistumisen ja materiaalin jakamisen.^{/4/}

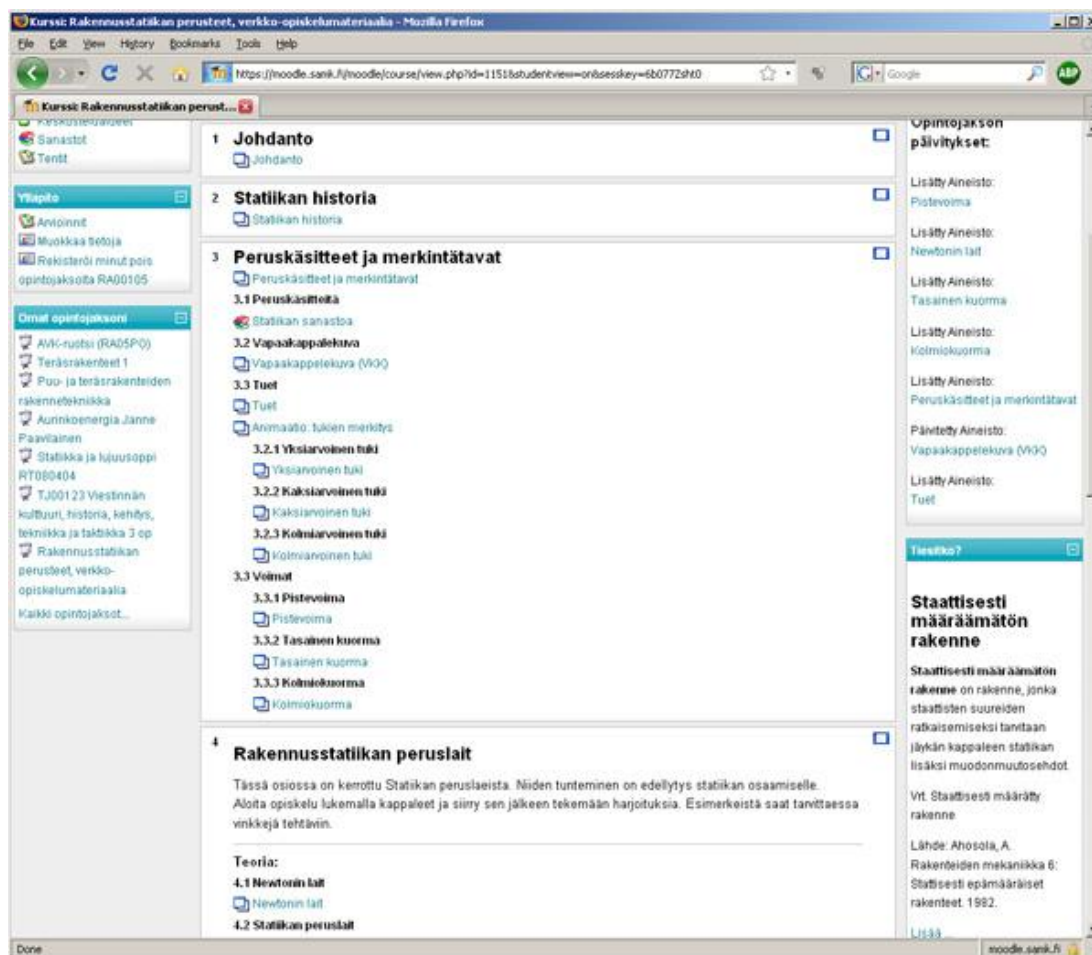
Keväällä 2009 Moodle oli käytössä 209 maassa ja sillä oli yli 30 miljoonaa käyttäjää. Moodlea kehitetään jatkuvasti ja siihen on saatavissa lukuisia erilaisia työkaluja, jotka mahdollistavat sen käytön moniin eri tarkoituksiin. Perusidealtaan Moodle on palvelimelle asennettava verkko-ohjelmisto, jonka kautta opettaja voi jakaa kurssimateriaalia, järjestää tenttejä, teettää tehtäviä ja ylläpitää erilaisia keskustelupalstoja^{/3/}.



Kuva 1. SAMK Moodlen etusivu 2.5.2009.

Moodlen käyttö tapahtuu internetselaimen avulla ja sitä voi käyttää minkä tahansa internetiin liitetyn tietokoneen avulla. Satakunnan ammattikorkeakoulun käytössä oleva SAMK Moodle on saatavilla osoitteessa <https://moodle.samk.fi/moodle/> (kuva 1). Sen käyttäminen vaatii kirjautumisen SAMKIn antamilla tunnuksilla. ^{/9/}

Tällaisen projektin toteuttamiseen Moodle-alusta sopii erityisesti sen luonnollisen sisällönjäsentelyn ansiosta. Moodleen lähetettävä materiaali voidaan jakaa kurssin pääsivulle laatikoihin, samalla tavalla kuin kirja jaetaan kappaleisiin (kuva 2). Selkeä jäsentely helpottaa tiedon omaksumista ja halutun tiedon nopeaa löytämistä. Lisäksi Moodlen monet eri työkalut lisäävät sen monipuolisuutta. Esimerkiksi sanastotyökalut ovat huolellisesti valmisteltuina käteviä opetuksen apuvälineitä.



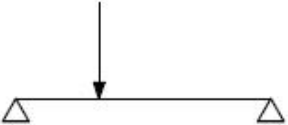
Kuva 2. Materiaali voidaan jakaa Moodlessa selkeästi aiheittain.

Moodlen työkalut tarjoavat mahdollisuuksia aktiiviseen oppimiseen. Esimerkiksi verkossa toteutettavien kokeiden tekemiseen tarkoitettulla *Tentti-työkalulla* voidaan

tehdä jatkuvasti avoinna olevia harjoitustehtäviä, jotka antavat opiskelijalle välitöntä palautetta tämän vastauksiin (kuva 3).


Valitse oikea momenttikuvio.

Rakennemalli:

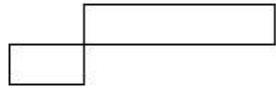


Vaihtoehdot:


A:




B:



C:



D:



Valitse vastaus

a. A
 b. B
 c. C
 d. D

Väärä vastaus. Tämä on leikkausvoimakuvaja.

Palauta

Kuva 3. Tenti-työkalulla tehty harjoitustehtävä.

Aivan ihanteellinen alusta tämänkaltaisen projektin käyttöön Moodle ei silti ole. Sen tehokas käyttö on suhteellisesta vapaudestaan ja laajuudestaan huolimatta kuitenkin riippuvainen siihen tehdyistä työkaluista. Esimerkiksi hyvien kaavatyökalujen puute hankaloittaa erityisesti tekniikan alojen opetustyötä. Kaavoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.2.

3.2 Sisällön tuottaminen

Statiikan verkkomateriaalit koostuvat monista opiskelua tukevista toiminnoista, kuten teoriaosuudesta, harjoitustehtävistä ja sanastosta.

Teoriaosuus on kirjoitettu lähdekirjallisuutta käyttäen ja pyritty saattamaan helposti omaksuttavaan muotoon. Erityisesti työssä on pyritty helpottamaan statiikan teorioiden hahmottamista ja yhdistämistä käytäntöön, jotta opiskelun hyöty heijastuisi työelämään mahdollisimman tehokkaasti. Teoriaosuus on laitettu Moodle-opintojakson sisälle normaalin web-muodon lisäksi myös kokonaisuutena PDF-muodossa, jotta sitä voisi helposti jakaa ja tulostaa. Kyseisestä PDF-tiedostosta löytyvä teoriaosuus on kokonaisuudessaan liitteessä 1.

Teoriaosuutta tukemaan on tehty erilaisia harjoitustehtäviä (kuva 4), joita opiskelija kykenee ratkomaan teoriasta oppimiensa tietojen ja yleisten tekniikan alan opintojen, kuten matematiikan, avulla. Tavoitteena on ohjata opiskelija oivaltavaan oppimiseen ja parantaa siten tämän ongelmanratkaisukykyä.

RA00105: Suunnikaslaki - Mozilla Firefox

Tiedosto Muokkaa Näytä Sivuhistoria Kirjanmerkit Työkalut Ohje

https://moodle.samk.fi

RA00105: Suunnikaslaki

Kolme miestä haluaa siirtää kiveä suuntaan x . Pappi ja kirvesmies vetävät 800N:n ja 550N:n voimilla kuvan esittämiin suuntiin. Millä voimalla insinööri on vedettävä, jotta hän pääsee mahdollisimman helpolla? Insinööri saa itse päättää mihin suuntaan hän vetää.

Ilmoita vastaus kokonaisina newtoneina.
(Esim, jos tarkka arvo 107,6 newtonia, ilmoitat vastaukseksi "108".)

Kivi

Pappi 800N

65°

35°

Kirvesmies 550N

Vastaus:

Oikein! Insinööriin on vedettävä kiveä etelän suuntaan noin 410 newtonin voimalla.

Valmis moodle.samk.fi

Kuva 4. Esimerkki harjoitustehtävästä.

Osaan harjoitustehtävistä löytyy tehtävää vastaavia esimerkkejä ja valmiita esimerkiksi ratkaisuja, jottei tehtävien ratkomisen aloittaminen kävisi liian ylivoimaiseksi tietopohjaltaan heikommillekaan oppilaille. Kaikkiin tehtäviin ei löydy valmiita vastauksia, jottei opiskelijalle tulisi kiusausta tarkistaa oikeaa ratkaisua heti ensimmäisen ongelman ilmetessä. Tällä pyritään ohjaamaan opiskelija ratkaisemaan ongelmat soveltaen aiemmin opittua tietoa ja muita tarjolla olevia esimerkkejä.

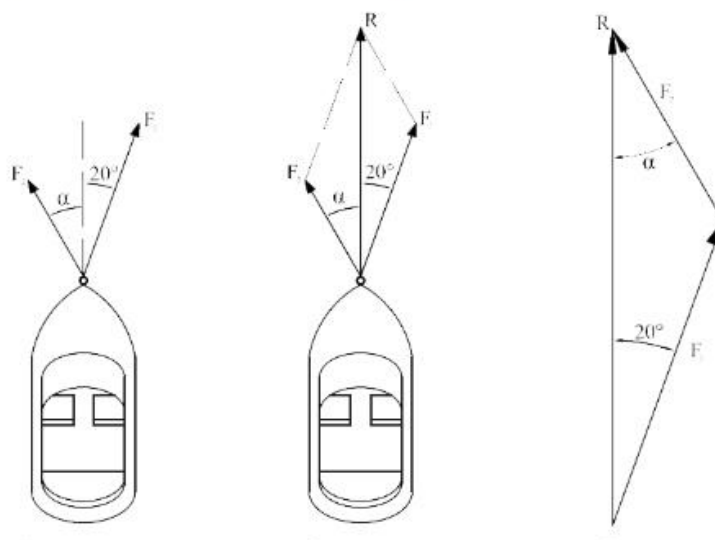
Tämän projektin aikana on pyritty tekemään tärkeimpiin aihepiireihin liittyen 1-2 harjoitustehtävää ja esimerkkiä aihetta kohden. Tulevaisuudessa niiden määrää on tarkoitus kasvattaa, mahdollisesti opiskelijaprojekteina, tai kyseisen Moodle-kurssin senhetkiseksi ylläpitäjäksi määrätyn henkilön toimesta ^{12/}.

RA00105: Suunnikaslaki - Mozilla Firefox

Tiedosto Muokkaa Näytä Sivuhistoria Kirjanmerkit Työkalut Ohje

https://moodle.samk.fi/r

SAMK Moodle: Kirjautu sivustoon RA00105: Suunnikaslaki



1. 2. 3.

Venettä vedetään erisuuntaisilla ja erisuuruisilla voimilla (1) niin, että se liikkuu suoraan eteenpäin (2). Resultantti ja voimavektorit muodostavat voimakolmion (3).

Venettä vedetään kahdella köydellä eri suunnista erisuuruisilla voimilla siten, että vene liikkuu suoraan eteenpäin. Veneeseen kohdistuva resultanttivoima on 50kN. Mikä kulman α tulee olla, jotta voima F2 olisi mahdollisimman pieni? Entä kuinka suuria voimat F1 ja F2 tällöin ovat?

Kulman α suuruus. Kuvan kolmannelta kohdasta voidaan päätellä, että jotta vektorista F2 tulisi mahdollisimman lyhyt, tulee sen olla kohtisuorassa vektori F1 vastaan. Kulman α tulee siis olla:

$$\alpha = 90^\circ - 20^\circ = 70^\circ$$

Voimavektorien suuruudet. Hahmotetaan ensin voimakolmio, jossa yhteenlaskettavat voimavektorit F1 ja F2 asetetaan peräkkäin kuvan kolmannen kohdan osoittamalla tavalla. Tällöin nämä voimat muodostavat yhdessä niiden resultanttivektorin kanssa kolmion, johon voidaan soveltaa sinilauseetta:

$$\frac{F_1}{\sin 30^\circ} = \frac{F_2}{\sin 20^\circ} = \frac{R}{\sin 130^\circ}$$

$$F_1 = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 130^\circ} \cdot 50 \text{ kN} \approx 37,64 \text{ kN}$$

Valmis moodle.samk.fi

Kuva 5. Erilaiset esimerkit auttavat ymmärtämään teorioita käytännössä.

Opettamisen avuksi sekä opiskelijan itse tutkittavaksi on statiikan verkkomateriaaleihin tehty myös lukuisia joukko erilaisia animaatioita, jotka auttavat paremmin ymmärtämään voimien ja kappaleiden suhdetta toisiinsa.

Laadukkaiden animaatioiden tekeminen on vaativa ja aikaa vievä tehtävä, mutta niihin kannattaa silti panostaa. Selkeä ja hyvin tehty visuaalinen animaatio voi helposti korvata tuntien perinteisen opetus- tai opiskelutyön.

3.2.1 Tekstit

Tämän projektin puitteissa tehdyt tekstit on kirjoitettu pääosin Microsoft Office Word -ohjelmalla normaaleja tutkimustyön käytäntöjä noudattaen. Tekstit on siirretty Moodleen kappaleen 4.1 kuvaamalla tavalla. Lyhyitä katkelmia ja teoriaosuuteen kuulumattomia tekstejä on lisäksi kirjoitettu suoraan Moodleen sen omilla muokkaustyökaluilla.

Projektin eri osista juuri teoriaosuuden kirjoittaminen oli eniten aikaa vievä ja haasteellisin.

Statiikan verkkomateriaalit koostuu useista yhteen linkitetyistä websivuista. Koska tämä projekti toimii vain perustana monien eri henkilöiden jatkuvalla kehitystyölle, on sivujen yhtenäisen yleisilmeen vuoksi tarpeellista määrittellä niillä käytettävät kirjaintyylit. Tällaisesta määrittelystä voidaan käyttää nimitystä *tyylikirja*. Tyylimäärittelyt ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Statiikan verkkomateriaalien tekstityylikirja

Tyyli	Määrittelyt	Käyttö
Otsikko 1	Kirjasin: Trebuchet, koko: 5 (18 pt), muotoilut: lihavoitu, kapitaalikirjaimin, tasaus: vasen, väri: musta.	Aiheiden pääotsikot
Otsikko 2	Kirjasin: Trebuchet, koko 4 (14 pt), muotoilut: lihavoitu, tasaus: vasen, väri: musta.	Kappaleiden pääotsikot

Otsikko 3	Kirjasin: Trebuchet, koko: 3 (12 pt), muotoilut: lihavoitu, tasaus: vasen, väri: musta.	Kappaleiden alaotsikot
Leipäteksti	Kirjasin: Trebuchet, koko: 3 (12 pt), tasaus: vasen, väri: musta.	Leipäteksti
Kuvateksti	Kirjasin: Trebuchet, koko: 2 (10 pt), tasaus: keskitetty, väri: musta.	Kuvien ja taulukoiden otsikot
Linkkiteksti	Kirjasin: Trebuchet, koko: 2 (10pt), tasaus: vasen, väri: sininen.	Opintojakson sisäiset linkit
Erikoismuotoilut	Tekstikorostukset kursivoituna, muut erikoismuotoilua vaativat kohteet tarpeen mukaan yllä esitettyjä tyylejä mukailten.	

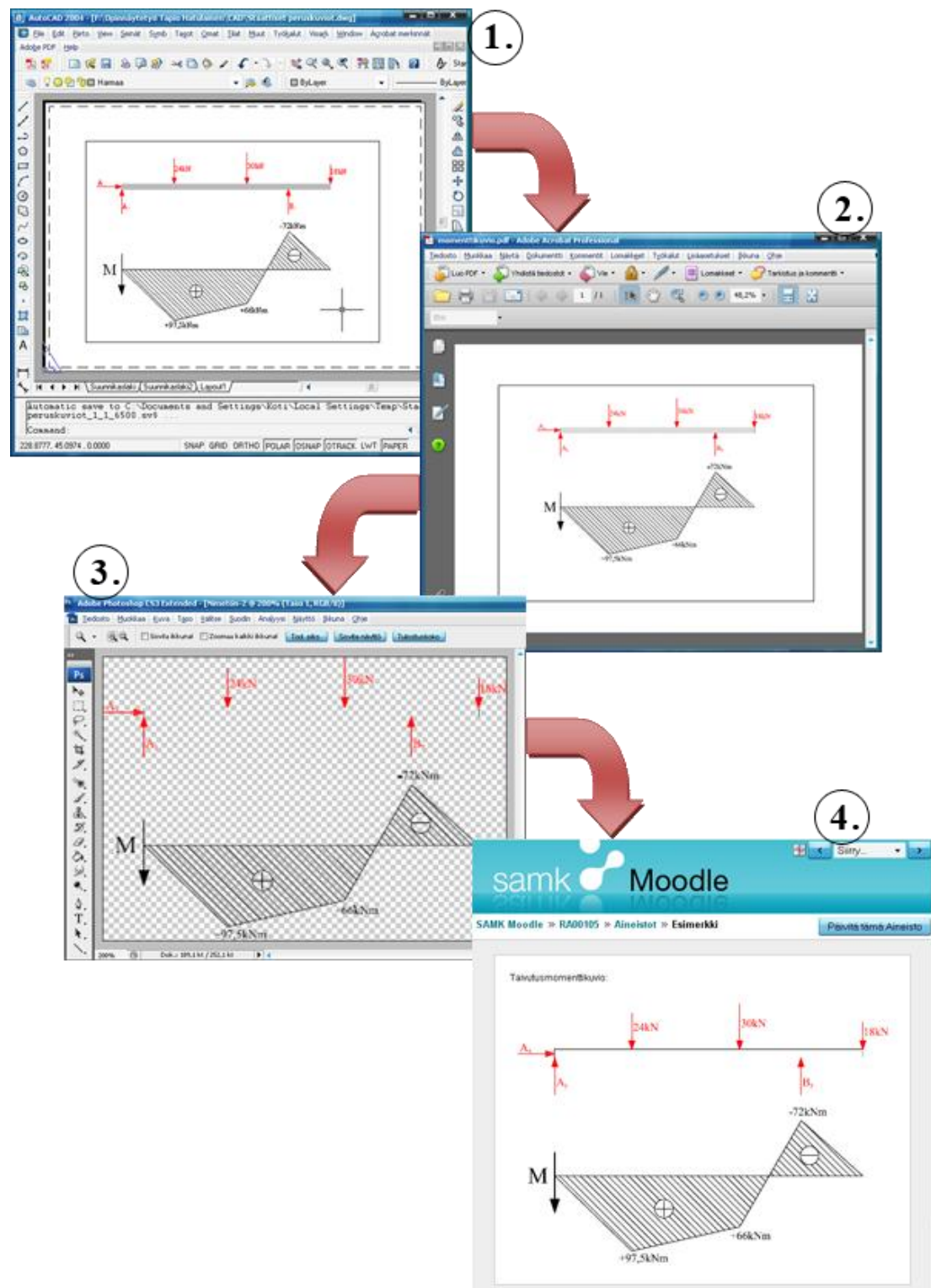
3.2.2 Kuvat

Tuottaessa kuvia Statiikan verkkomateriaaleihin käytettiin monia eri menetelmiä. Suurin osa kuvista tuotettiin monivaiheisesti käyttäen kolmea eri tietokoneohjelmaa: Autodesk AutoCAD 2004, Adobe Acrobat 8 Professional ja Adobe Photoshop CS3.

Kuvan tuottaminen on esitetty kuvassa 6. Varsinainen kuva piirrettiin AutoCAD-yleissuunnitteluohjelmalla. AutoCAD on vektorigrafiikkaohjelma, jolla on mahdollista piirtää mittasuhteiltaan eksakteja kuvia. Kuva tulostettiin PDF-formaattiin Adobe Acrobat Professionalin avulla. Tällä välivaiheella kuva saatiin muutettua vektorigrafiikasta pikseligrafiikaksi. Tällöin esimerkiksi AutoCAD:ssa määritellyt viivatyyli- ja -paksuudet saatiin toistumaan halutunlaisina.

PDF-formaattiin muutetusta kuvasta otettiin kuvakaappaus Windowsin Print Screen -toiminnolla. Print Screen tallettaa tietokoneen näytöllä näkyvän tilan tietokoneen leikepöydälle kuvaksi. Tämä kuvakaappaus liitettiin Photoshopiin, jossa kuvasta muokattiin halutunlainen ja -kokoinen. Lisäksi kuviin tehtiin usein monia muutoksia, kuten lisättiin tekstejä tai yhdistettiin muihin kuviin.

Valmiit kuvat lähetettiin palvelimelle Moodlen Liitä kuva -toiminnolla, jonka jälkeen ne olivat käytettävissä sivuilla.



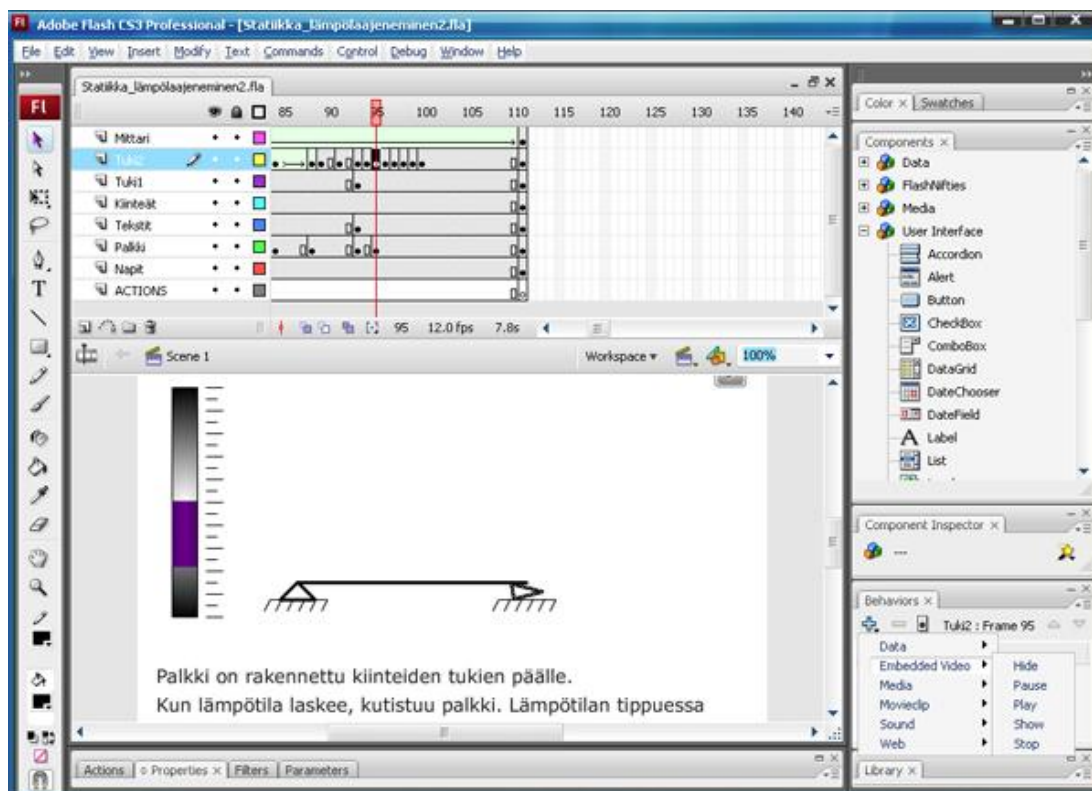
Kuva 6. Momenttikuvio tuotettiin monivaiheisesti: grafiikkaohjelmasta (1) PDF-muotoon (2), kuvakaappaus kuvankäsittelyohjelmaan (3) ja lopulta valmis tuotos (4).

Muita vastaavalla tekniikalla käytettyjä ohjelmia olivat Autodesk Revit Architecture 2009 ja Autodesk Autocad Architecture 2009. Näitä kahta ohjelmaa käytettiin erityisesti kuvaamaan kolmiulotteisia kappaleita ja tiloja.

3.2.3 Animaatiot

Statiikan verkkomateriaaleihin toteutetut animaatiot on pääsääntöisesti tehty Adobe Flash CS3 Professional -ohjelmalla (kuva 7). Animaatiot ovat Flash-elokuvia, joita voi katsella selaimessa flash-soittimen avulla. Soitin on saatavilla ilmaiseksi internistä, muun muassa sen valmistajan Adobe Systems Incorporatedin sivuilta ja löytyy useimmista tietokoneista. Flash on yksi maailman laajimmalle levinneistä ohjelmistoalustoista. Flash-videoiden toistoon kykeneviä Flash-soittimia on yli 99 prosentissa kaikista internetiin liitetyistä koneista^{/8/} ja 800 miljoonassa mobiililaitteessa^{/6/}.

Joissakin animaatioissa on lisäksi käytetty apuna AutoCAD:ia ja Adobe Photoshop CS3:a animaatioissa käytettyjä kuvia piirrettäessä ja käsitellessä.



Kuva 7. Flash-animaatiot tehtiin Flash CS3 Professionalin avulla.

Koska Moodle ei ainakaan vielä Statiikan verkkomateriaaleja rakennettaessa tukenut sellaisenaan flash-animaatioiden liittämistä sivustoon, jouduttiin tätä varten kehittämään vaihtoehtoinen ratkaisu. SWF-formaatissa (SWF = *Small Web Format*, tunnettiin aiemmin nimellä *Shockwave Flash*^{/7/}) olevat animaatiotiedostot lähetetään

palvelimella käyttämällä Moodlen Lisää kuva -toimintoa. Animaatioiden liittäminen itse sivuun tehdään käyttämällä HTML-koodausta, jota internet-selaimet ja siten myös niiden avulla käytettävä moodle ymmärtävät^{/5 s.26/}.

Koodi:

```
<object width="KORKEUS" height="LEVEYS">
<param name="movie" value="OTSIKKO" />
<embed src="OSOITE" width="KORKEUS" height="LEVEYS" />
</object>
```

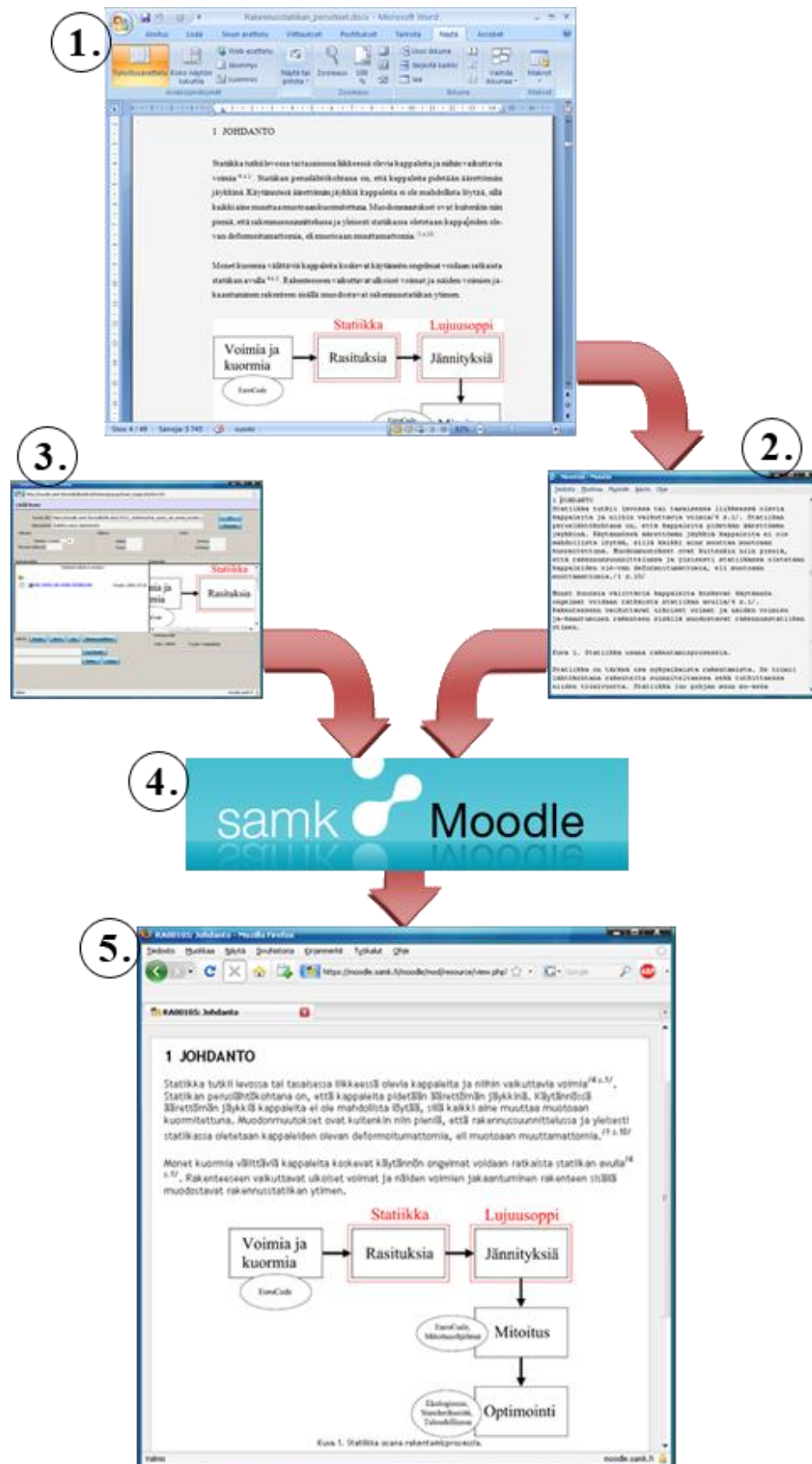
jossa: KORKEUS = animaation korkeus
 LEVEYS = animaation leveys
 OTSIKKO =
 OSOITE = animaation URL-osoite,
 esim. <https://moodle.samk.fi/moodle/file.php/1151/Flash/lampojuet.swf>

4 ONGELMIA

Siirrettäessä statiikan verkkomateriaaleja tietokoneelta eri formaateista moodleen ilmenee useita ongelmia. Suurimman ongelmat syntyvät siirrettäessä Microsoft Office Wordin esimuotoiltua tekstiä ja tekstissä esiintyviä Wordin kaavatyökalulla kirjoitettuja kaavoja.

4.1 Tekstit

Suurin osa statiikan verkkomateriaaleista on kirjoitettu Microsoft Office Word 2007 ohjelmalla. Kopioitaessa tekstejä suoraan Wordista moodleen copy/paste-toiminnolla on ongelmana Wordin sisäisten muotoilujen siirtyminen koodimuodossa tekstin mukana. Tämä sekoittaa muun muassa Internet Explorer -internetselaimen (testattu versiot 6 ja 7) toiminnan siten, etteivät sivut näy toivotulla tavalla. Tekstin joukkoon ilmestyy sekalaisia tajeja eivätkä muotoilut toimi oikein (kuva 8). Pieniä ongelmia ilmenee myös Mozilla Firefox (versio 3.0) -selaimella, mutta huomattavasti vähemmän.



Kuva 9. Valmis teksti Wordissä (1). Wordin tekstimuotoilut poistettiin liittämällä teksti Muistioon (2). Kuvat lähetettiin palvelimelle Moodlen omalla työkalulla (3). Moodlella aineisto muokattiin halutunlaiseksi (4). Valmis web-sivu (5).

4.2 Kaavat

Moodle ei tue testatuilla ohjelmilla tehtyjä kaavoja, eikä ainakaan vielä Statiikan verkkomateriaaleja rakennettaessa sisältänyt minkäänlaista kaavatyökalua. Projektin aikana testatut ohjelmat ovat Microsoft Office Word 2003 ja 2007 -ohjelmien kaavatyökalut, Microsoft Office Excel 2007 ja Parametric Technology Corporation Math-Cad v14. Ainoa toimiva tapa siirtää kaavat moodleen on muuttaa ne kuviksi ja liittää ne moodlen Liitä kuva -työkalulla.

Kaavojen muuttaminen kuviksi onnistuu ottamalla tietokoneen ruudulla näkyvistä kaavoista kuvakaappaus ja rajaamalla siitä haluttu kaava kuvakäsittelyohjelmalla. Tämän jälkeen kaavakuva voidaan tallentaa palvelimelle käytettäväksi Moodlessa.

Yllä kuvattu metodi on varsin hidas ja liian työläs ollakseen mielekäs. Kunnes sopiva kaavatyökalu saadaan käyttöön, on järkevintä tuoda paljon kaavoja sisältävät aineistot Moodleen PDF-muodossa.

5 RAKENNUSTEKNIIKAN KUVAPANKKI

Yksi opinnäytetyöni kantavista ideoista oli tosimaailman tapausten ja teorian yhdistäminen. Parhaiten todellisia tapauksia kyetään sähköisesti esittämään valokuvien ja videoiden avulla.

Valokuvien keräämistä varten hain SAMKin Tekniikka Porin toimipisteen rakennustekniikan opiskelijoiden joukosta henkilöitä, jotka voisivat vapaa-ajalla ja kesätöissä kuvata erilaisia rakennusteknisesti kiinnostavia kohteita. Hakukeinoina toimivat ryhmäsähköpostit ja sähköinen ilmoitustaulu.

Itseni lisäksi projektiin otti kuvia rakennustekniikan opiskelija Markus Pietilä. Kuvien keräämistä varten kehittelemäni SAMKin palvelimelle sivuston, jonka kautta pystyi lähettämään valokuvia palvelimelle (kuva 10) ja katselemaan siellä jo olevia. Tulok-

sena syntyi *Rakennustekniikan kuvagalleria*, rajatun käyttäjäryhmän käyttöön tarkoitettu kuvapankki (kuva 11).

RAKSAGALLERIA - UPLOAD

Voit lähettää kuvia Raksagalleriaan alla olevan lomakkeen avulla. Valitse lähetettävät kuvat ja paina lähetä. Kuvat tallentuvat palvelimelle odottamaan järjestelmävalvojan hyväksyntää.

Voit lähettää enintään 10 kuvaa kerrallaan. Kuvan maksimikoko on noin 5 Mt, mutta on suositeltavaa pitää niiden koot reilusti pienempinä, jotta galleria latautuu sujuvasti. Kuvien on hyvä olla .jpeg-muodossa, mutta lomake tukee muitakin yleisiä kuvaformaatteja.

Ongelmien ilmetessä ota yhteys järjestelmän ylläpitäjään (yhteystiedot sivun alalaidassa).

<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>
<input type="text"/>	<input type="button" value="Selaa..."/>

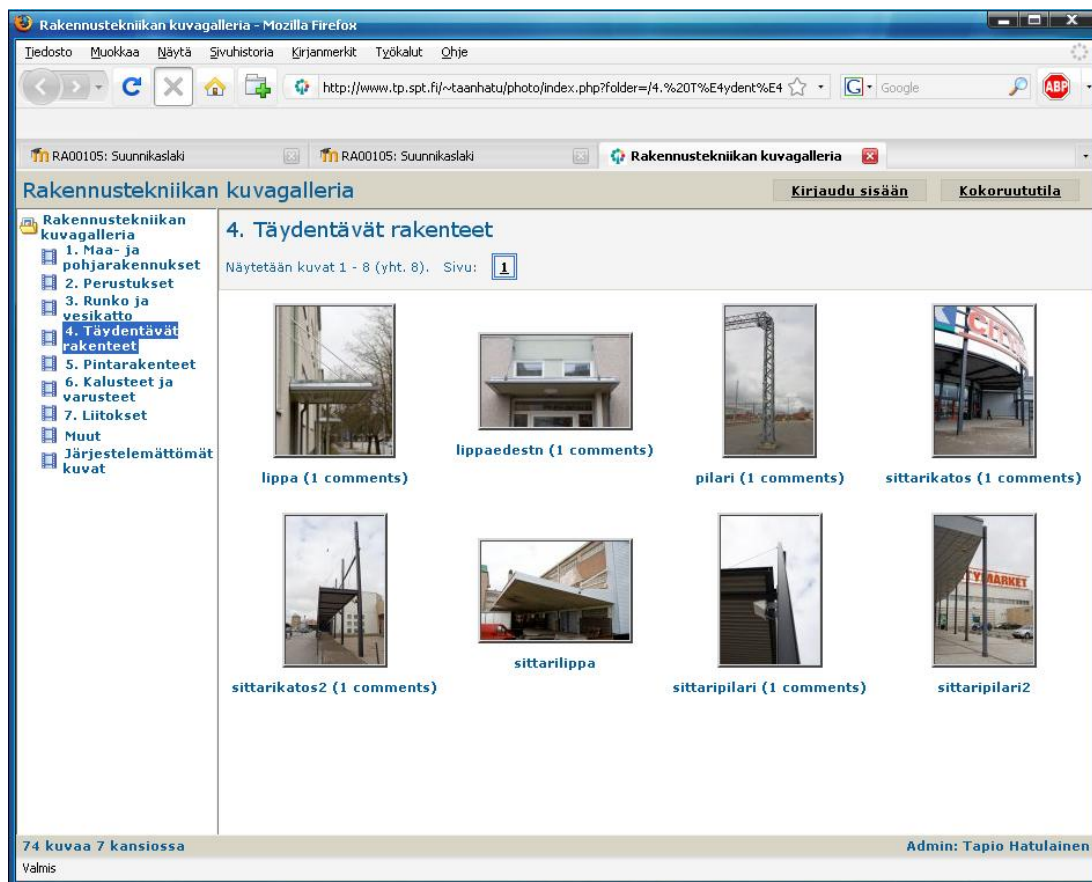
© Tapio Hatulainen (2008), sähköposti muotoa: etunimi.sukunimi@student.samk.fi.

Kuva 10. Alkuperäisen kuvagallerian kuvanlähetyssivu.

Keväällä 2009 kuvapankkia alettiin kehittää koko rakennustekniikan koulutusohjelman käyttöön sopivaksi yleiseksi kuvapankiksi. Tässä opinnäytetyöni sivutuotteena syntyneessä projektissa olivat itseni lisäksi mukana koulutusjohtaja Jussi Koskinen, laboratorioinsinööri Mari Uusitorppa, lehtori Karri Kivi ja laboratorioinsinööri Sami Peltomäki.

Projektin tuloksena syntyi *Rakennus- ja LVI-tekniikan kuvapankki*. Kuvapankin on tarkoitus toimia aloittelevan opiskelijan tukena, erityisesti korvaamassa vähäisestä työkokemuksesta johtuvaa tiedonpuutetta. Kuvapankista on mahdollista etsiä esimerkkirakenteita ja muuta rakennustekniikan opiskelussa hyödyllisiä kuvia. Lisäksi kuvapankki toimii opettajilla opetuksen apuvälineenä.

Kuvia julkiseen kuvapankkiin voivat lähettää kaikki SAMKin opiskelijat ja työntekijät. Lähettämiseen vaaditaan kirjautuminen SAMKin antamilla tunnuksilla. Kuvien katseluun ei vaadita tunnuksia.



Kuva 11. Aluksi Rakennustekniikan kuvagalleria toimi vain kuvien keräys- ja säilytyspaikkana.

6 PROJEKTIN LOPPUTULOKSET

Projektin lopputuloksena syntyi sen tavoitteena ollut Rakennusstatistiikan verkko-opetusmateriaali, joka on esitetty liitteessä 1 ja sivutuotteena rakennustekniikan kuvapankki. Niiden soveltumista käytäntöön päästään testaamaan lukuvuotena 2009 – 2010, jolloin ne otetaan kokonaisuudessaan opetuskäyttöön Satakunnan ammattikorkeakoulu Tekniikka ja merenkulku Porissa.

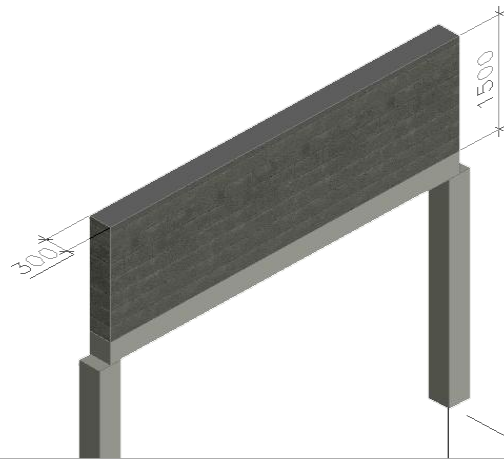
Projektin laajemmat tavoitteet, eli eri oppilaitosten välinen yhteistyö ja aineiston jatkokehitys jäävät niin ikään vasta tulevaisuudessa toteutuviksi, kuten jo projektin lähtökohdissa todettiin.

Nykyisen tilanteen pohjalta voidaan kuitenkin arvioida, että projektin opinnäytetyöhöni kuuluva osa on onnistunut laajuudestaan ja erityisestä haasteellisuudestaan huolimatta hyvin.

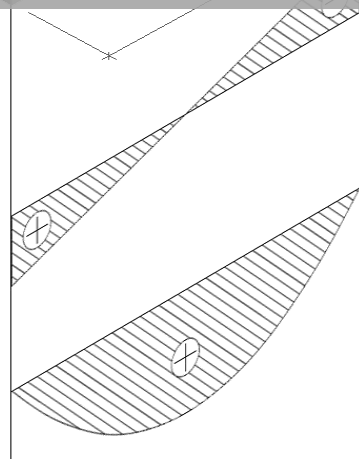
Jatkokehitysprojektina voisi tekemääni aineistoa syventää ja laajentaa koskemaan myös lujuusoppia. Erityisesti animaatioita voitaisiin tehdä lisää esimerkiksi opiskelijaprojekteina. Myös laskuharjoituksia tulisi tehdä lisää. Mahdollisena opinnäytetyönä voisi toimia myös aineiston kääntäminen englanniksi.

LÄHTEET

1. Salmi, T. Statiikka. Tampere. Klingedahl Paino Oy. 1995. 388 s.
2. Koskinen, J. 2009. Koulutusjohtaja, Satakunnan ammattikorkeakoulu. Pori. Haastattelu 30.4.2009. Haastattelijana Tapio Hatulainen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.
3. Moodlen alkuperäissivusto [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2009]. Saatavissa: <http://moodle.org/>.
4. Moodle Docs [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.5.2009]. Saatavissa: <http://docs.moodle.org/>.
5. Mediamasteri Group. Moodle Opettajan opas Versio 1.6.3. 2006.
6. Adobe SWF Technology Center [verkkodokumentti]. [Viitattu 13.2.2009]. Saatavissa: <http://www.adobe.com/devnet/swf/>.
7. Robbins, J.N. Web Design in a Nutshell [verkkodokumentti]. [Viitattu 13.2.2009]. Saatavissa: <http://books.google.com/>.
8. Flash Player Statistics [verkkodokumentti]. [Viitattu 3.3.2009]. Saatavissa: http://www.adobe.com/products/player_census/flashplayer/.
9. SAMK Moodle [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.5.2009]. Saatavissa: <https://moodle.samk.fi/moodle/>.



RAKENNUSSTATIIKAN PERUSTEET



SISÄLLYS

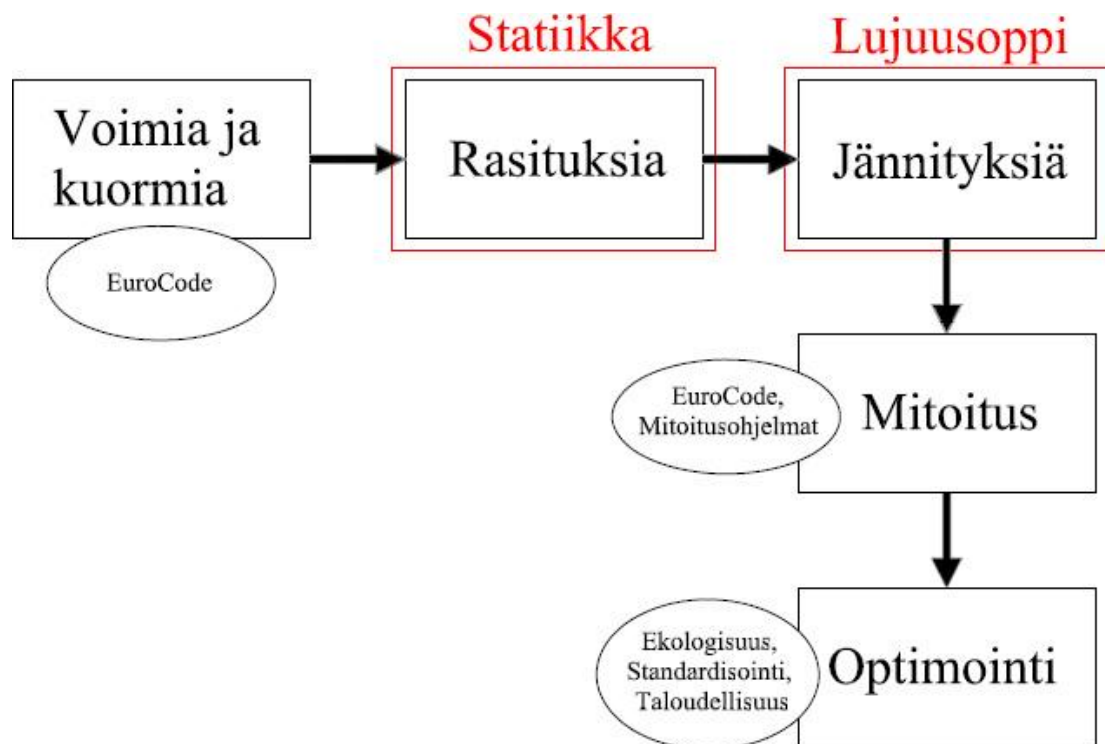
1	JOHDANTO.....	4
2	STATIIKAN HISTORIA.....	6
3	PERUSKÄSITTEET JA MERKITÄTAVAT.....	8
3.1	Peruskäsitteitä.....	8
3.2	Vapaakappalekuva.....	9
3.3	Tuet.....	10
3.3.1	Yksiarvoinen tuki.....	12
3.3.2	Kaksiarvoinen tuki.....	13
3.3.3	Kolmiarvoinen tuki.....	14
3.4	Voimat.....	15
3.4.1	Pistevoima.....	15
3.4.2	Tasainen kuorma.....	16
3.4.3	Kolmiokuorma.....	17
4	STATIIKAN PERUSLAIT.....	19
4.1	Newtonin lait.....	19
4.2	Statiikan peruslait.....	19
4.2.1	Suunikaslaki.....	19
4.2.2	Voiman siirtymisen laki.....	23
4.2.3	Voiman ja vastavoiman laki.....	24
4.2.4	Hitauden laki.....	24
4.3	Newtonin ja Statiikan lakien sovelluksia.....	25
4.3.1	Tasapainossa olevan kappaleen ratkaisu.....	26
5	VOIMAT.....	28
5.1	Yleistä voimista.....	28
5.2	Massan muuttaminen voimaksi.....	28
5.3	Tukivoimat.....	31
5.3.1	Tukivoimien ratkaiseminen.....	31
6	MOMENTTI.....	34
6.1	Yleistä momentista.....	34
6.2	Vääntömomentti.....	37
6.3	Taivutusmomentti.....	37
6.3.1	Taivutusmomentin laskeminen.....	38
6.3.2	Taivutusmomenttikuvion piirtäminen.....	39
7	LEIKKAUSVOIMA.....	41
7.1	Yleistä leikkausvoimasta.....	41

7.2 Leikkausvoiman laskeminen.....	42
7.3 Leikkausvoimakuvion piirtäminen	43
LÄHTEET	47
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Statiikka tutkii levossa tai tasaisessa liikkeessä olevia kappaleita ja niihin vaikuttavia voimia^{/4 s.1/}. Statiikan peruslähtökohtana on, että kappaleita pidetään äärettömän jäykkänä. Käytännössä äärettömän jäykkiä kappaleita ei ole mahdollista löytää, sillä kaikki aine muuttuu muotoaan kuormitettuna. Muodonmuutokset ovat kuitenkin niin pieniä, että rakennussuunnittelussa ja yleisesti statiikassa oletetaan kappaleiden olevan deformatumattomia, eli muotoaan muuttamattomia.^{/1 s.10/}

Monet kuormia välittäviä kappaleita koskevat käytännön ongelmat voidaan ratkaista statiikan avulla^{/4 s.1/}. Rakenteeseen vaikuttavat ulkoiset voimat ja näiden voimien jakaantuminen rakenteen sisällä muodostavat rakennusstatiikan ytimen.



Kuva 1. Statiikka osana rakentamisprosessia.

Statiikka on tärkeä osa nykyaikaista rakentamista. Se toimii lähtökohtana rakenteita suunniteltaessa sekä tutkittaessa niiden toimivuutta. Statiikka luo pohjan muun muassa lujuuslaskennalle (kuva 1).

Rakennusinsinöörille on välttämätöntä ymmärtää statiikkaa ja osata soveltaa sitä käytäntöön. Suunnittelupuolella statiikan merkitys kasvaa erityisesti, mutta myös työmaalla on hyvä osata sen perusteet.

2 STATIIKAN HISTORIA

*" Jos olen nähnyt muita kauemmas, se johtuu siitä,
että olen seissyt jättiläisten olkapäillä."*

- Sir Isaac Newton

Statiikan historialliset juuret ulottuvat antiikin Kreikkaan. Vanhin tunnettu statiikkaa käsittelevä kirjoitus on "Μηχανικα Προβλήματα" eli "Mekaniikan ongelmista". Kirja esittää statiikan teorioita ja sen soveltamista yksinkertaisissa koneissa. Teoksen tekijää ei tunneta, vaikka sitä onkin pitkään virheellisesti väitetty Aristoteleen (283 –322 eaa.) kirjoittamaksi. ^{/3 s.22/}

Aristoteles esitteli statiikan teorioitaan kirjassa "Φυσικη ακροασις", eli "Fysiikka". Hänen teoriansa olivat monessa suhteessa varsin virheellisiä, mutta Aristoteleen tekemä työ oli silti ratkaisevan tärkeää nykyiselle fysiikan tuntemukselle. Aristoteles muun muassa kehitti logiikan, jonka mukaisesti luonnontieteen teorioita piti muodostaa. Hänen mukaansa tieteen ja teorian tulisi perustua aksiomaattiseen järjestelmään, jossa lähdettäisiin liikkeelle vain muutamasta perustotuudesta (aksioomasta) ja loput totuudet (teoreemat) johdettaisiin näistä. ^{/2 s.12, 3 s.22/}

Arkhimedes (287 – 212 eaa.) täsmensi vivun tasapainolakia, otti käyttöön kappaleen painopiste -käsitteen ja kehitti nesteessä kelluvaan kappaleeseen vaikuttavan nostovoiman lain. Arkhimedes oli myös erinomainen insinööri ja kehitti monia mekaanisia laitteita, muun muassa Niilin suistoalueen kastelemiseen tarkoitettuja hydraulisia laitteita. ^{/3 s.20, 22/}

Vaikka Vanhalla ajalla ja Keskiajalla on rakennettu mahtavia nykyaikaan asti säilyneitä rakennuksia ja rakenteita, ei tuolloin kuitenkaan vielä ollut yleistä oppia kappaleiden tasapainosta. Monumentaaliset rakennelmat rakennettiin sukupolvelta toiselle periytyneen tietotaidon turvin ilman minkäänlaisia laskelmia. ^{/3 s.22/}

Italialainen yleisnero Leonardo da Vinci (1452 – 1519) suunnitteli monenlaisia kehitetyneitä laitteita, mutta puutteellisten matemaattisten taitojen takia hän ei kyennyt rakentamaan niistä moniakaan käytännössä. Hän ei myöskään osannut selittää ilmiöitä mekaanisilla teorioilla. ^{/2 s.12/}

Nykyaikaisen tekniikan vaatimat mekaniikan teoriat kehitettiin vasta Keskiajan jälkeen, Uudella ajalla. Tärkeimpiä statiikan teorioiden kehittäjiä ovat muun muassa Galileo Galilei (1564 – 1642), Simon Stevin (1548 – 1620), Pierre Varignon (1654 – 1722) ja Louis Poinsot (1777 – 1859). ^{/2 s.12/}

Galilei esitti teorioita ja teki käytännön kokeita kappaleiden liikkeen kuvaamiseksi. Hän oli täsmällisen kokeellisuuden ja luonnonlakien matemaattisen kuvaamisen edelläkävijä. Galilein työ muodosti pohjan klassiselle mekaniikalle, jonka Isaac Newton myöhemmin kehitti. Galilei tunnetaan parhaiten putoamisliikkeeseen liittyvistä kokeistaan. ^{/14/}

Mekaniikan ja siten myös statiikan suurmiehenä pidetty englantilainen sir Isaac Newton (1643 – 1727) kokosi silloisen mekaniikan tuntemuksen yhteen ja julkaisi kuuluisan kirjansa, ”Philosophiae naturalis principia mathematica” (Luonnonfilosofian matemaattiset perusteet). Teos, joka yleisimmin tunnetaan nimellä Principia, ilmestyi vuonna 1687 ja sitä on sanottu jopa yhdeksi kaikkien aikojen merkittävimmistä kirjoista. ^{/2 s.13/}

Newtonin Principiassa esittämät peruslait esittävät partikkelien liikettä yleisellä tasolla. Leonard Euler (1707 – 1783) laajensi Newtonin teorioita koskemaan myös jäykkiä kappaleita, mikä on nykyaikaisen rakennustekniikan kannalta varsin merkittävää. ^{/4 s.4/}

Pitkään Newtonin teoriat tuntuivat vastaavan tosimaailman toimintaa. Vasta Albert Einsteinin (1879 – 1955) yli kaksi sataa vuotta myöhemmin kehittämä suhteellisuusteoria osoitti, että Newtonin teoriat ovat osin erheellisiä. Näiden vaikutukset ilmenevät kuitenkin vasta kun liikutaan lähes valonnopeudella 300 000km/s, joten Newtonin mekaniikka on edelleen pätevä ja käyttökelpoinen rakennustekniikan käyttöön. ^{/2}

3 PERUSKÄSITTEET JA MERKITÄTAVAT

"Mieluummin keksin yhden toden selityksen kuin olen Persian kuningas."

- Demokritos

Jotta kykenisi ymmärtämään statiikan teorian ja ratkomaan sen avulla rakenteiden ongelmia, on ensin ymmärrettävä siihen liittyvien termien ja käsitteiden merkitykset. Lisäksi statiikassa muodostetaan tosielämän kappaleista yksinkertaistettuja malleja, joissa esimerkiksi monimutkaiset liitokset korvataan niitä kuvaavilla piirrosmerkeillä. Niiden tunteminen on välttämätöntä, jotta kykenee tulkitsemaan kuvien antamaa tietoa.

Kansainvälistyvässä maailmassa on tärkeää osata myös tärkeimpien termien englanninkieliset käännökset (Liite 1).

3.1 Peruskäsitteitä

Taulukko 1. Peruskäsitteitä ja niiden määritelmiä

EuroCode, Eurokoodit	Euroopan yhteiset kantavien rakenteiden suunnittelua koskevat standardit. ^{/11/}
Kappale/Jäykkä kappale	Kappale, joka ei muuta muotoaan vaikka sitä kuormitetaan ^{/2 s.16/} . Esimerkiksi palkki tai pilari.
Koordinaatisto	Koordinaatisto on geometrinen järjestelmä, jonka avulla voidaan ilmaista esimerkiksi kappaleiden sijainteja. Statiikassa yleisin koordinaatisto on kaksiulotteinen karteellinen (suorakulmainen) koordinaatisto, jossa y-akseli on pystysuorassa, x-akseli vaakasuorassa ja näiden leikkauskohdassa on nollapiste, eli origo. (Kts. kuva 3) ^{/15/}
Massa	Suure, joka ilmaisee kappaleen kyvyn vastustaa liiketilan muutosta. Merkitään yleensä kirjaimella <i>m</i> . SI-järjestelmän mukainen yksikkö on gramma [g], rakentamisessa käytetään yleisemmin kilogrammaa [kg] tai tonnia [t] (=1000kg). ^{/7/}
Muuttuva kuorma	Vaikutusaikansa ja -paikkansa perusteella muuttuva kuorma, esim. hyötykuorma. ^{/10/}

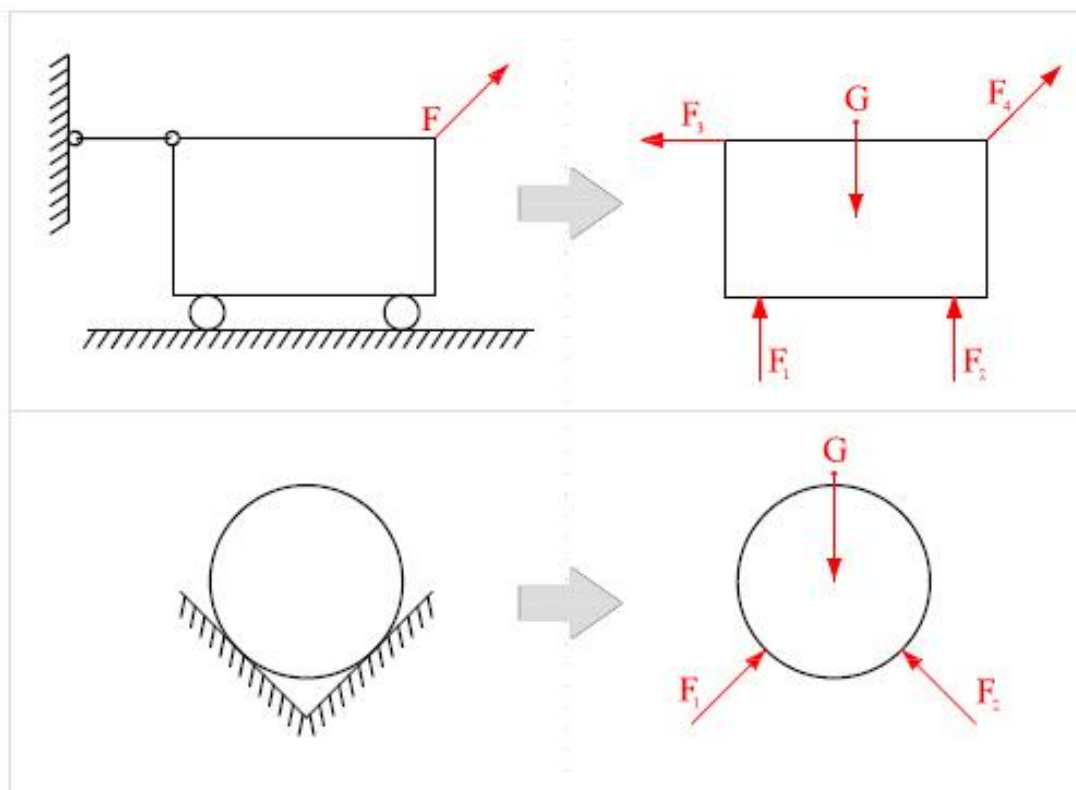
Newton	SI-järjestelmän mukainen voiman yksikkö. $1N = 1 \frac{kg \times m}{s^2}$ /1 s.21/ Rakentamisessa yleisimmin käytetty <i>kilonewton</i> : $1kN = 1000N$ /10/ Myös: sir Isaac Newton, kts. Luku 2: Statiikan historia.
Ominaiskuorma	Kuormat, joita ei ylitetä tietyllä todennäköisyydellä ylitetä rakenteen suunniteltuna käyttöaikana tavallisessa käytössä. /10/
Palkki	Palkki on pitkänomainen, monesti vaakasuora rakenne, joka on kuormitettu kohtisuorasti pituusakseliaan vastaan /1 s.76/. Statiikassa palkkina voidaan laskennallisesti pitää myös laattoja ja muita vastaavia rakenteita, jos niiden tutkinta tapahtuu kaksiulotteisesti sivulta.
Partikkeli	Pistemassa, massapiste, ainepiste, hiukkanen. Vastaa geometrian pistettä, jolla on lisäksi massa. Jos kappaleen mitat ja suunnat eivät ole tehtävän kannalta olennaisia, voidaan kappaletta käsitellä partikkelina. /9 s.8/
Pysyvä kuorma	Suuruudeltaan, sijainniltaan ja suunnaltaan muuttumaton kuorma. /10/
Resultantti, resultanttivoima	Kappaleeseen vaikuttavien voimien yhteisvaikutus, summavoima. Osavoimien (eli komponenttivoimien) vektorisumma. /6 s.94/
Staattisesti määrätty rakenne	Rakenne, jonka staattiset suureet saadaan ratkaistuksi jäykän kappaleen statiikan avulla. /8 s.4/
Staattisesti määräämätön rakenne	Vrt. Staattisesti määrätty rakenne. Jäykän kappaleen statiikan lisäksi tämän ratkaisemiseen tarvitaan muodonmuutosehdot. /8 s.4/
Staattiset suureet	Tukivoimat, kiinnitysmomentit, leikkausvoimat, normaalivoimat, taivutusmomentit ja vääntömomentit. /8 s.4/
Ulkoiset voimat	Voimat, jotka näkyvät vapaakappalekuvassa. /10/
Vektori, vektorisuure	Vektorisuuresta tiedetään sen itseisarvon lisäksi suunta. /6 s.17/

3.2 Vapaakappalekuva

Jotta voitaisiin selvittää mitä voimia tutkittavaan kappaleeseen vaikuttaa, piirretään ns. vapaakappalekuva (VKK). Vapaakappalekuva on kuva, jossa tutkittava rakenneosa on irrotettu muusta rakenteesta ja sen tukilaitteet on korvattu niistä aiheutuvilla voimilla. Lisäksi kuvaan on piirretty muut ulkoiset voimat. /10/

Vapaakappalekuvan piirtämiseen tulee kiinnittää erityisen paljon huomiota, sillä siinä tehdyt virheolettamukset aiheuttavat sitä seuraaviin laskuihin epätarkkuutta tai jopa vakavia virheitä. Pahimmillaan tämä tarkoittaa rakenteen kestämyttömyyttä ja rakennuksen sortumisen.

Vapaakappalekuva on erilaisten tasapainotehtävien ratkaisun tärkein apuväline. Eri-tyisesti geometrisesti monimuotoisten kuvioden ratkaisu ilman kunnollista vapaakappalekuva on hankalaa. /1 s.51/



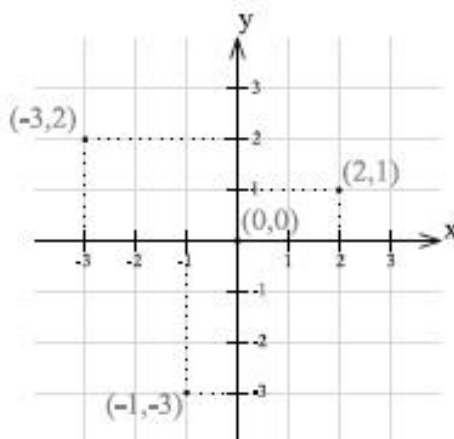
Kuva 2. Esimerkkejä vapaakappalekuvan muodostamisesta.

Omamassa (G) vaikuttaa massakeskipisteessä, pistevoimat (F) tukipisteissä.

3.3 Tuet

Statiikan kannalta on olemassa vain kolmentyyppisiä tukia. Todellisuudessa olemassa olevat lukuisat tuet ja liitokset pelkistetään näihin kolmeen tyyppiin sen mukaan mitä voimia ne kykenevät ottamaan vastaan. Nämä kolme voimaa ovat y - ja x -suuntaiset voimat sekä momentti.

Erlaisia tukityyppejä esittelevät kappaleet 3.3.1–3.3.3 sisältävät lukuisia erilaisia piirrosmerkintätapoja, joita on kerätty tämän työn tekemisessä käytetyistä lähteistä.



Kuva 3. Kaksiulotteinen koordinaatisto, johon on merkitty x- ja y-suunnat.

Rakennustekniikassa yleisimmät y-suuntaiset voimat ovat maan vetovoimasta johtuvat voimat, esimerkkeinä rakennuksen omapaino, hyötykuorma ja lumikuorma. X-suuntaisia taas ovat yleisimmin tuulikuormat. Momentin muodostuminen käsitellään myöhemmin luvussa *6 Momentti*.



Kuva 4. Porin stadionin katsomon tukipilarit ottavat vastaan vain pystykuormia. Pilarit ovat alapäästään jäykästi tuettuja mutta yläpäästään täysin irtonaisia. Katsomo on ”laskettu” pilareiden päälle.

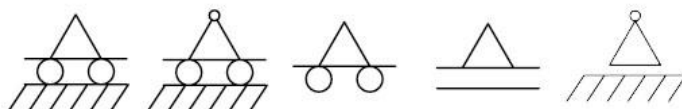
3.3.1 Yksiarvoinen tuki

Vaihtoehtoisia nimityksiä: *Liikkuva tuki*, *Liikkuva nivel*

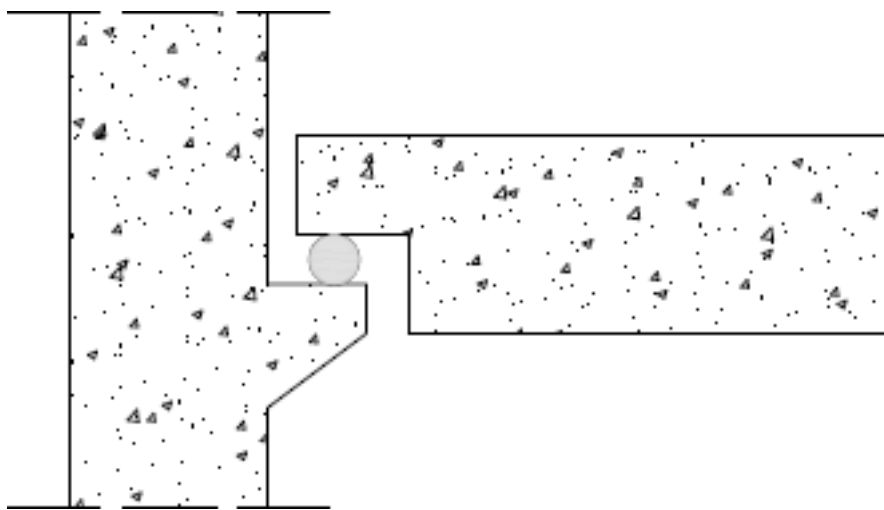
$\uparrow \neq 0$
$\rightarrow = 0$
$M = 0$

Yksiarvoinen tuki ottaa vastaan vain pystyvoimia. Se ei ota vastaan vaakavoimia tai momenttia.

Erilaisia merkintätapoja:



Yksiarvoisia tukia käytetään erityisesti pitkän jännevälin rakenteissa, joissa on odotettavissa lämpölaajenemisesta johtuvaa siirtymää. Tällaisia ovat esimerkiksi laakerituetut sillat, joiden toinen pää pääsee vapaasti liikkumaan sillan pituussuunnassa.



Kuva 5. Yksiarvoinen tuki. Rullatuenta sallii palkin liikkua tuella vapaasti, jolloin esimerkiksi lämpölaajeneminen ei aiheuta palkkiin jännityksiä.

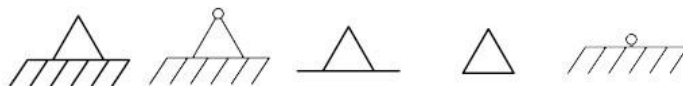
3.3.2 Kaksiarvoinen tuki

Vaihtoehtoisia nimityksiä: *Niveltuki*, *Kiinteä tuki*, *Pysyvä tuki*

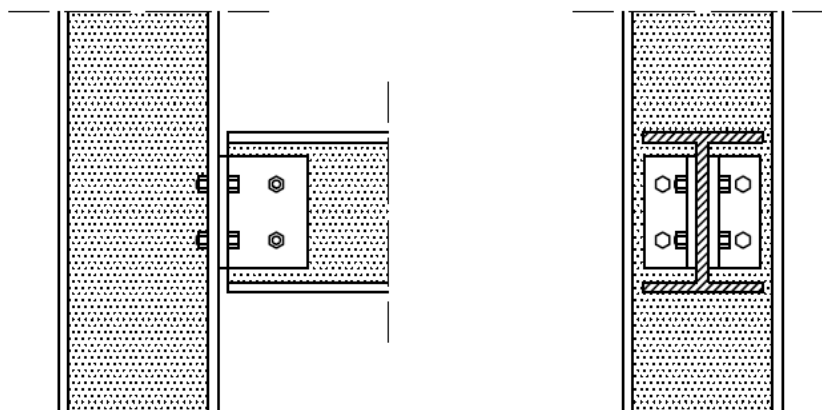
$\uparrow \neq 0$
$\rightarrow \neq 0$
$M = 0$

Kaksiarvoinen tuki ottaa vastaan pysty- ja vaakavoimia. Se ei ota vastaan momenttia.

Erilaisia merkintätapoja:



Kaksiarvoinen tuki on yleisin rakentamisessa käytettävä tuki.



Kuva 6. Kaksiarvoinen tuki. Liitos toimii nivelenä joka sallii palkin liikkua sen ollessa rasitettuna.

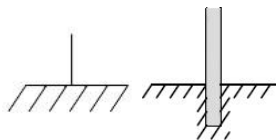
3.3.3 Kolmiarvoinen tuki

Vaihtoehtoisia nimityksiä: *Jäykkä tuki*, *Kiertymätön tuki*

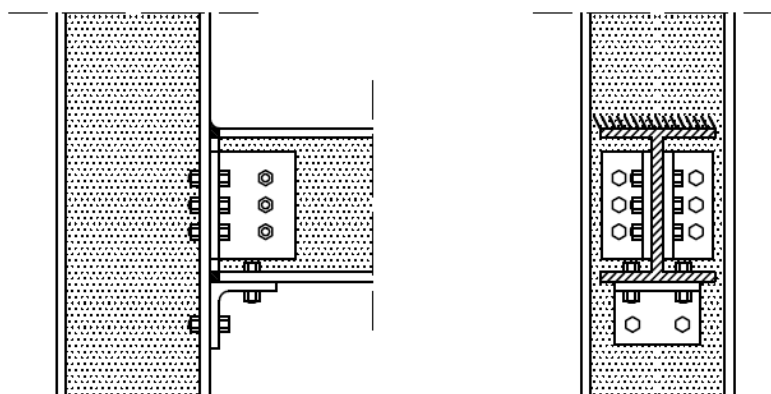
$\uparrow \neq 0$
$\rightarrow \neq 0$
$M \neq 0$

Kolmiarvoinen tuki ottaa vastaan pysty- ja vaakavoimia sekä momenttia.

Erilaisia merkintätapoja:



Kolmiarvoisia tukia käytetään esimerkiksi lipputangoissa ja mastopilareissa. Lisäksi erilaiset ulokkeet tuetaan useimmiten jäykästi.

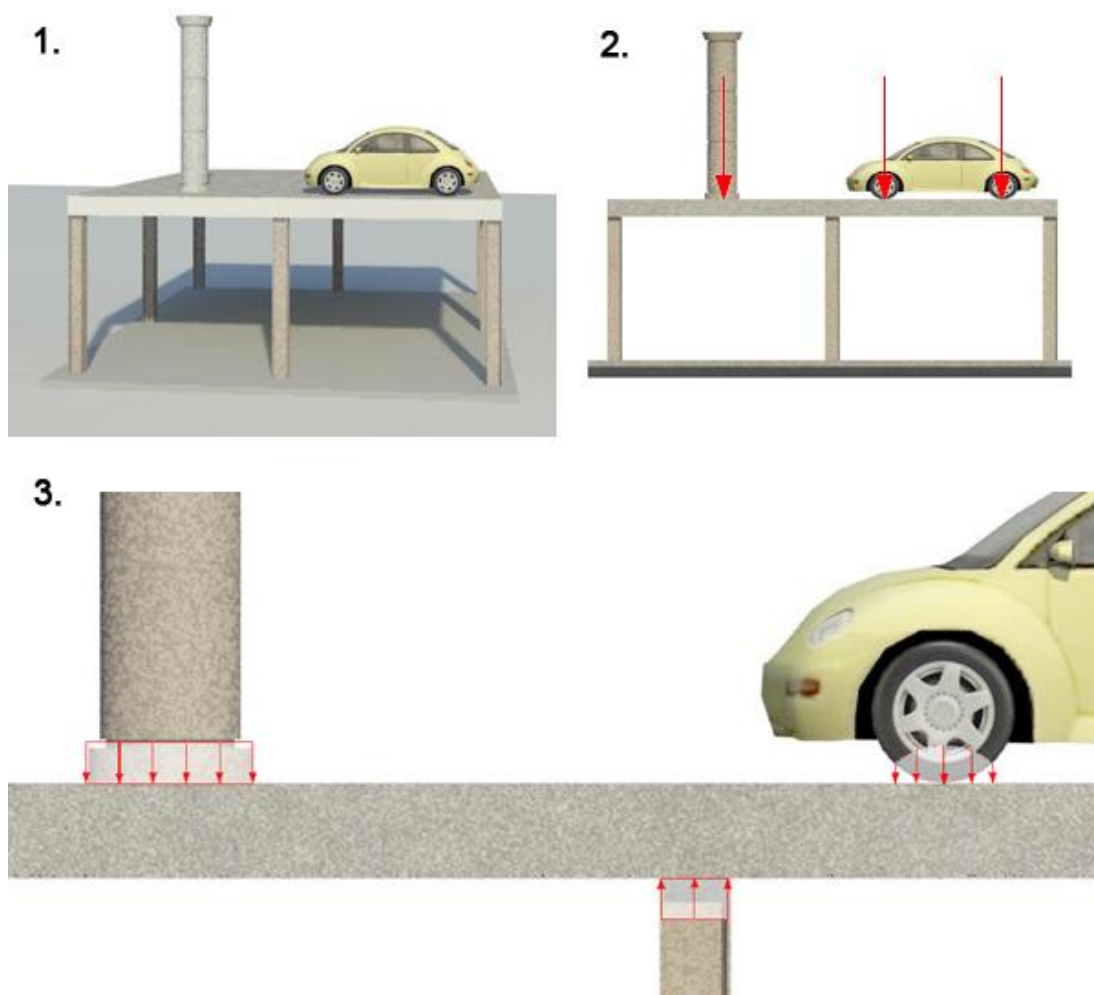


Kuva 7. Jäykkä liitos. Sama kuin kuvan 6 tilanne, mutta liitosta on jäykistetty hitsaamalla ja lisäämällä L-mallisia kulmarautoja.

3.4 Voimat

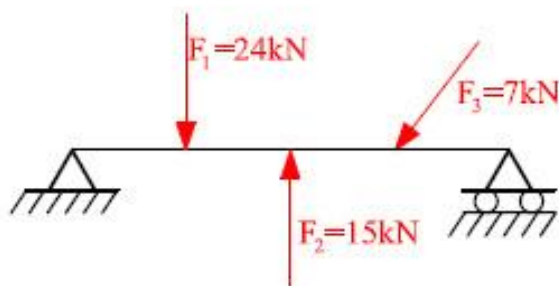
3.4.1 Pistevoima

Pistevoimat aiheutuvat pistemäisistä, hoikista rakenteista, Esimerkiksi pilareista. On kuitenkin huomattava, että usein ero pistekuorman ja tasaisen kuorman muodostumisen välillä on riippuvainen mittakaavasta. Laajassa mittakaavassa pilari muodostaa pistekuorman, mutta lähemmässä tarkastelussa voidaan todeta, että kyseessä on tasainen kuorma (kuva 8).



Kuva 8. Auton renkaat ja pilarit muodostavat laatalle suuressa mittakaavassa piste-kuormia (kohta 2), mutta läheltä tarkasteltuna tasaisia kuormia (kohta 3).

Pistevoiman tunnus on $[F]$. Rakentamisessa pistevoimasta käytetään usein yksikköä kN . Pistevoiman symbolina staattisissa kuvissa käytetään nuolta. Pistevoima voi olla missä tahansa kulmassa kappaleeseen nähden, mutta laskentaa varten pistevoima usein jaetaan x - ja y -suuntaisiin komponentteihin (käsitellään kappaleessa 4.2.1 *Suunnikaslaki*).



Kuva 9. Pistevoimia

3.4.2 Tasainen kuorma

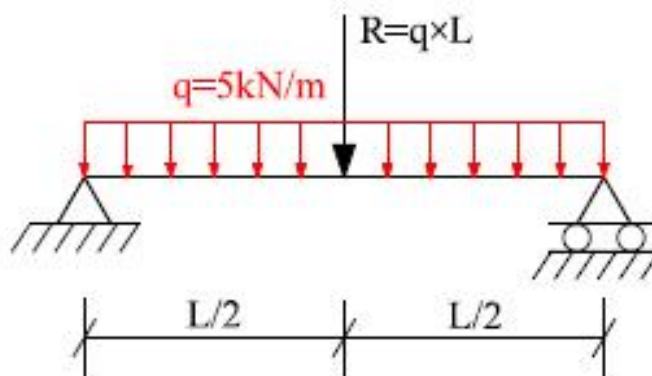
Tasainen kuorma vaikuttaa yhtäläisellä voimalla koko vaikutusalueellaan. Tyypillisesti tasaisia kuormia aiheuttavat laatalta palkille tulevat kuormat. Lisäksi niitä aiheuttavat tasaisesti kinostuva lumi, sekä laskennallisessa mielessä Eurokoodeissa määritellyt yleiset hyötykuormat^{/11 s.30/}.



Kuva 10. Palkkiin muodostuu yläpuolisesta laatasta tasainen kuorma (kuvannut Markus Pietilä).

Tasaisen kuorman resultantti on kuormitusleveyden keskellä^{/10/}. Tukireaktioita laskettaessa tasainen kuorma voidaan korvata resultanttipistekuormalla. On kuitenkin huomattava, että tämä ei päde rasituskuvioita piirrettäessä, ainoastaan tukireaktioita tutkittaessa.

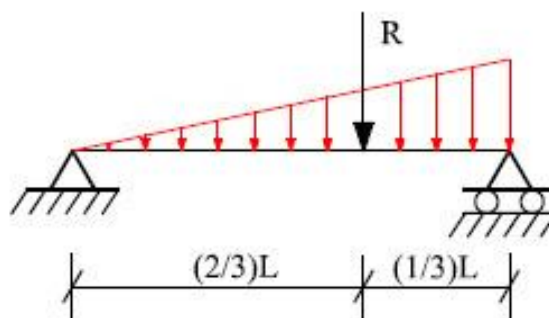
Rakentamisessa tasaisia kuormia merkitään yleensä yksiköllä $\frac{kN}{m}$. Tietylle alalle muodostuvat tasaiset kuormat taas merkitään $\frac{kN}{m^2}$. Tasaisen kuorman tunnus on hyötykuormalle $[q]$ ja pysyvälle kuormalle $[g]$. Pistekuorman symbolina staattisissa kuvissa käytetään suorakulmiota, jonka sisällä on voiman suunnan osoittavia nuolia.



Kuva 11. Tasainen kuorma. Kuvaan merkitty myös kuorman resultanttipistevoima.

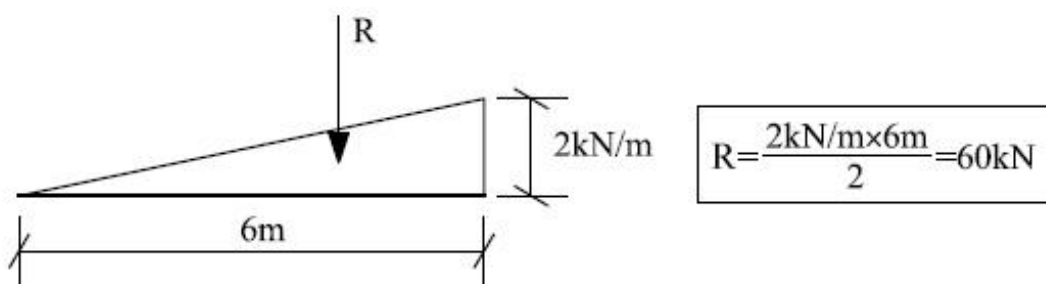
3.4.3 Kolmiokuorma

Kolmiokuorma on kuin tasainen kuorma, joka kasvaa lineaarisesti. Kolmiokuorman resultantti on kolmion painopisteessä. Painopiste on kuormitusleveyden kolmanneksen päässä kolmion korkeammasta reunasta.



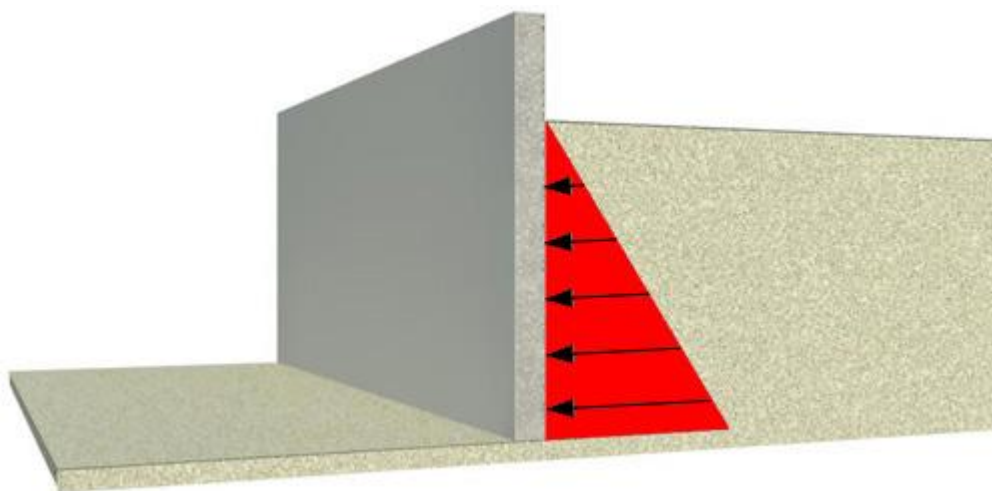
Kuva 12. Kolmiokuorma ja sen resultanttipistevoima.

Resultanttivoiman suuruus saadaan laskemalla kolmion ala siten, että kolmion kaarteina käytetään kuormitusmatkaa ja suurinta yksittäisen pisteen kuormitusta.^{/10/}



Kuva 13. Kolmiokuorman resultanttivoiman laskeminen

Kolmiokuormia voi aiheutua esimerkiksi lumen epätasaisesta kinostumisesta tai maanpaineesta. Lisäksi epäsymmetrisen palkin omapaino voi aiheuttaa kolmiokuorman. Tällaisia palkkeja ovat esimerkiksi harja- ja pulpettipalkit.



Kuva 14. Kolmiokuorma voi muodostua esimerkiksi betoniseinää vasten nojaavan maan massasta.

4 STATIIKAN PERUSLAIT

”Kaikkein käsittämättömintä luonnossa on sen käsitettävyyys.”

– Albert Einstein

4.1 Newtonin lait

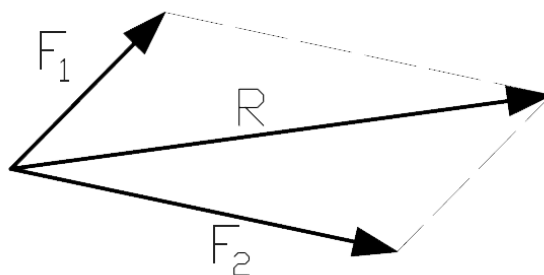
Fyysikko Isaac Newton muotoili teoksessaan *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* niin kutsutut mekaniikan peruslait^{/2 s.13/}. Newtonin laeista on rakentamisen avuksi johdettu yleiset säännöt, joiden kautta on mahdollista lähteä havainnoimaan rakenteiden toimivuutta.

Seuraavissa kappaleissa esitellään neljä statiikan peruslakia, *suunnikaslaki*, *voiman siirtymisen laki*, *voiman ja vastavoiman laki* sekä *hitauden laki*. Näiden lisäksi statiikkaan liittyy kiinteästi myös *gravitaatiolaki* (tunnetaan myös *dynamiikan peruslakina*), joka on Newtonin toinen laki. Sen avulla kyetään muun muassa muuttamaan massa voimaksi. Dynamiikan peruslain sisältö on esitelty tarkemmin kappaleessa 5.2 *Massan muuttaminen voimaksi*, eikä sitä siksi ole lisätty tähän.

4.2 Statiikan peruslait

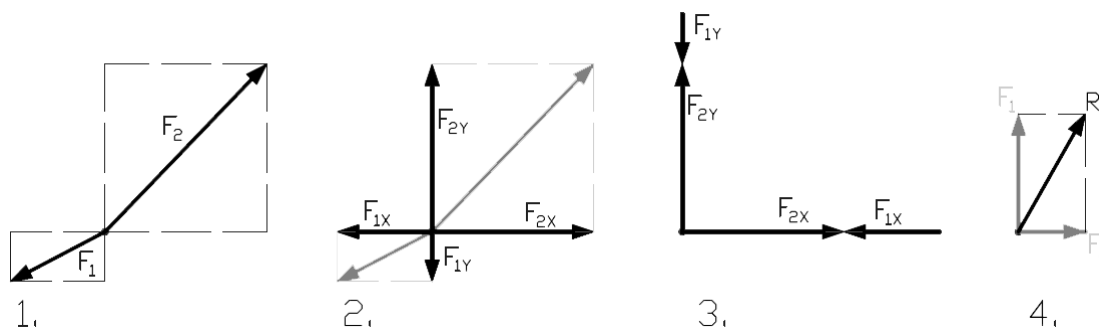
4.2.1 Suunnikaslaki

Jos kaksi voimaa vaikuttaa samaan pisteeseen, voidaan niiden yhteisvaikutus esittää vektorilla, joka yhtyy sen suunnikkaan lävistäjään, jonka sivuina ovat annettu ja kahta voimaa kuvaavat vektorit^{/2 s.17/}.



Kuva 15. Suunnikaslaki. Kaksi eriarvoista voimaa ja niiden resultantti.

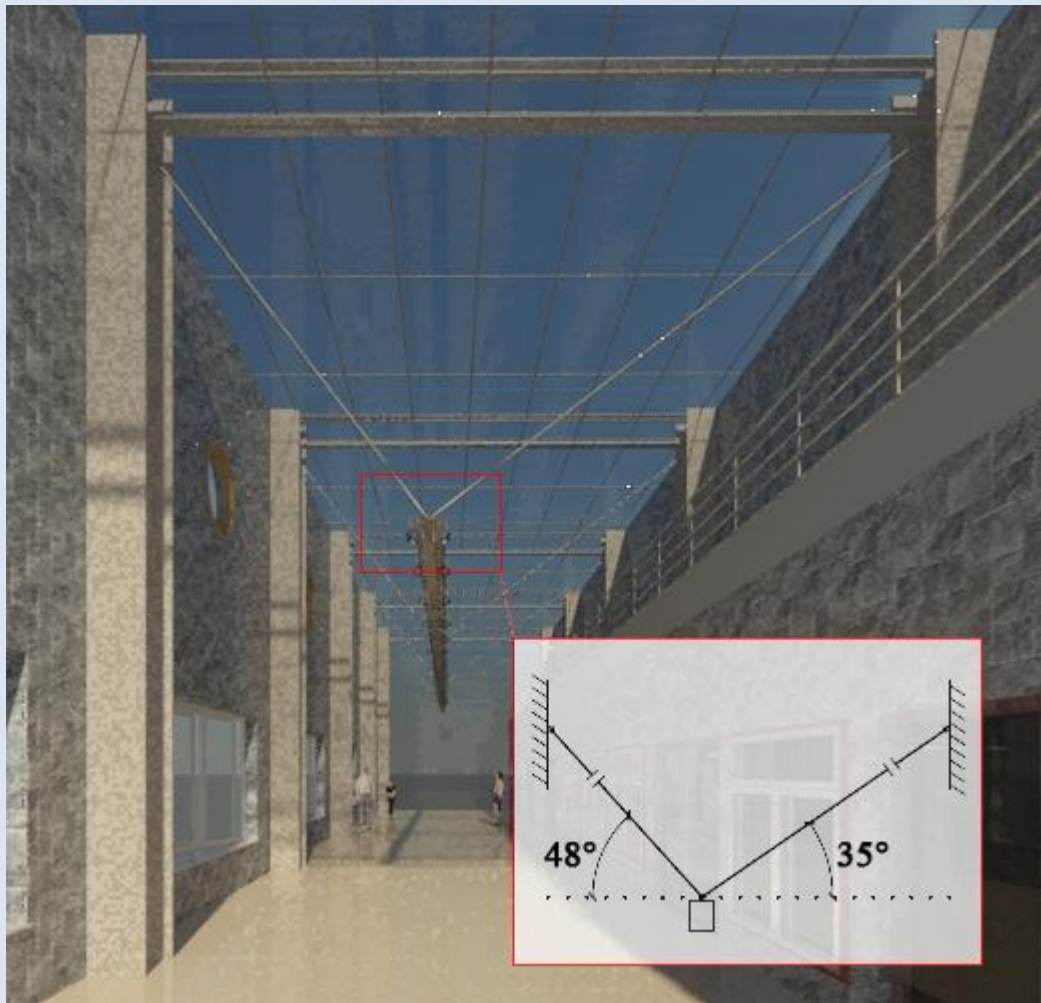
Samaa periaatetta käänteisesti käyttäen voidaan myös yksittäinen voima jakaa komponentteihin. Siten viistosti vaikuttavasta voimasta saadaan selvitettyä sen kappaleeseen aiheuttamat vaakaja pystyvoimat. Tämä toimii muun muassa rakennusten lujuuslaskennan lähtökohtana.



Kuva 16. Kappaleeseen vaikuttaa kaksi voimaa (1). Voimat jaetaan komponentteihin (2). Vastakkaisuuntaiset komponenttivoimat vähennetään toisistaan (3). Jäljelle jäävistä voimista muodostetaan yhteinen resultantti (4). Kuvan partikkeli liikkuu yläoikealle.

Jos kappaleeseen vaikuttaa useita erisuuntaisia voimia on näiden yhteisvaikutus mahdollista selvittää jakamalla eri voimat ensin komponentteihin ja sitten muodostamalla näistä yhteinen resultantti (kuva 16).

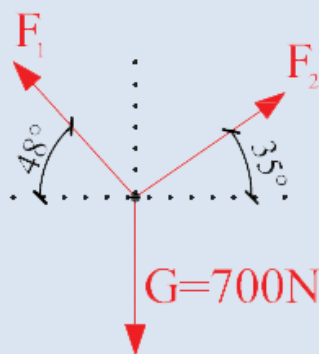
Esimerkki 4.1



Kuva 17. Kappale roikkuu vaijereiden varassa.

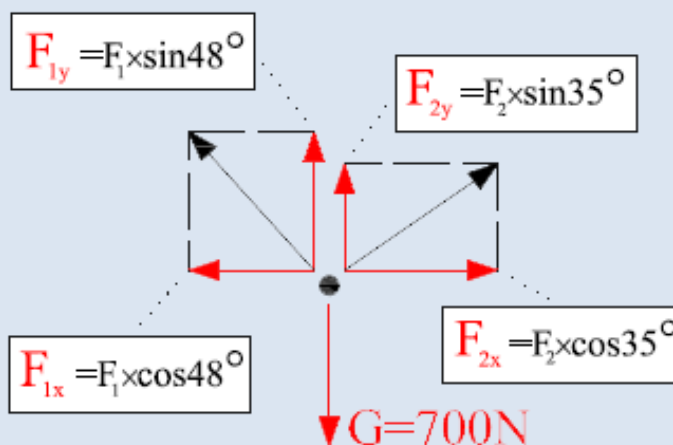
Kauppakeskuksen pääkäytävän yläpuolella roikkuu valo- ja kaapelikisko vaijereiden varassa kuvan 17 mukaisesti. Kisko painaa 70kg (eli 700N) vaijeriparia kohden. Laske vaijereille tulevat voimat.

Tutkitaan vain yhtä vaijeriparia, kaikki parit ovat identtisiä. Aloitetaan piirtämällä vaijereiden yhtymäkohdan vapaakappalekuva. Kisko painaa 70kg, joten se korvataan 700N alaspäin suuntautuvalla pistevoimalla. Vaijerit korvataan pistevoimilla F_1 ja F_2 .



Kuva 18. Vaijereiden ja kappaleen yhtymäkohdan vapaakappalekuva.

Jaetaan vaijereiden pistevoimat komponentteihin ja määritellään niiden ratkaisuun tarvittavat yhtälöt käyttäen normaaleja suorakulmaisen kolmion ratkaisusääntöjä:



Kuva 19. Pistevoimien komponentit ja niiden yhtälöt.

Määritellään tasapainoehdot – jotta kappale on liikkumaton on seuraavien yhtälöiden oltava tosia:

$$\uparrow: F_1 \times \sin 48^\circ + F_2 \times \sin 35^\circ - 700 = 0$$

ja

$$\rightarrow: -F_1 \times \cos 48^\circ + F_2 \times \cos 35^\circ = 0$$

Alemmasta yhtälöstä voidaan todeta, että:

$$F_1 = F_2 \times \frac{\cos 35^\circ}{\cos 48^\circ}$$

Sijoitetaan se ylempään yhtälöön:

$$F_2 \times \frac{\cos 35^\circ}{\cos 48^\circ} \times \sin 48^\circ + F_2 \times \sin 35^\circ - 700 = 0$$

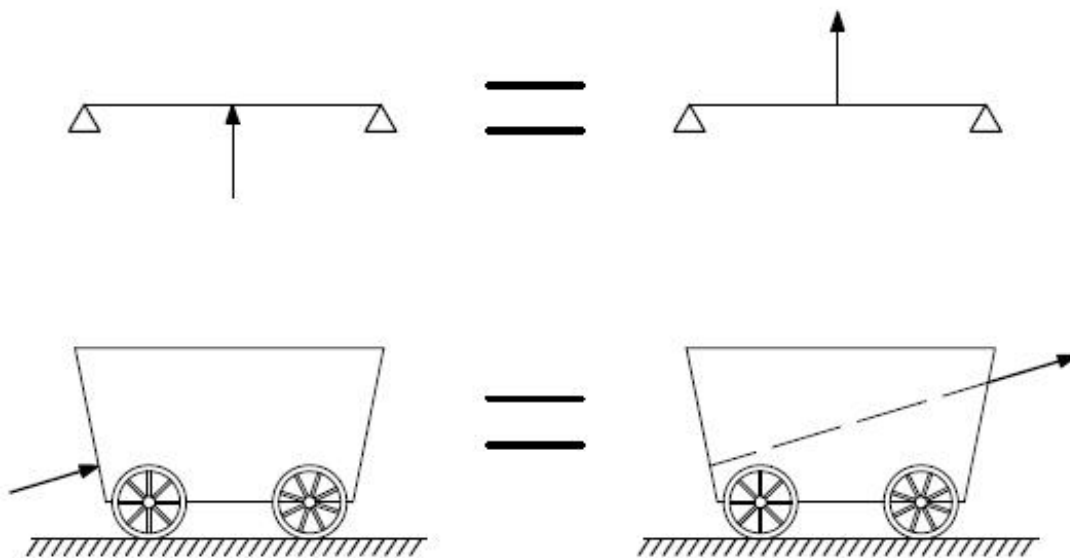
Yhtälöstä saadaan ratkaistua F_2 . Sijoittamalla saatu F_2 :n arvo F_1 :n yhtälöön, saadaan myös F_1 :n arvo.

Tuloksiksi saadaan $F_2 \approx 472N$ ja $F_1 \approx 578N$.

4.2.2 Voiman siirtymisen laki

Voimaa voidaan siirtää pitkin sen vaikutussuoraa. Ei ole väliä vedetäänkö vai työnnetäänkö jäykkää kappaletta, ulkoisesti tulos on samanarvoinen, kunhan voiman suuntaa tai suuruutta ei muuteta.^{/2 s.17/}

On kuitenkin huomioitava, että tämä pätee vain jäykkään kappaleeseen. Esimerkiksi elastinen kappale suhtautuu voimiin eri tavalla. Rakentamisen kannalta tämä on kuitenkin merkityksetöntä.

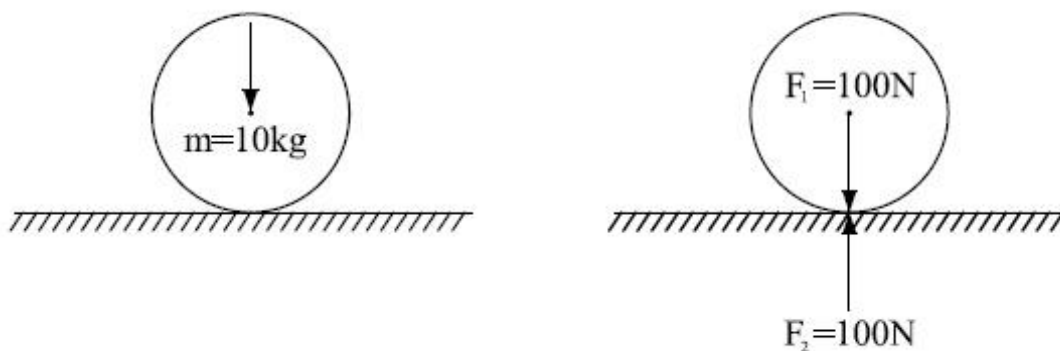


Kuva 20. Voiman siirtymisen laki. Voimaa voidaan siirtää pitkin vaikutussuoraa ilman että sen vaikutus kappaleeseen muuttuu.

4.2.3 Voiman ja vastavoiman laki

Jos partikkeli A aiheuttaa partikkeliin B jonkin voiman, aiheuttaa partikkeli B myös A:han samansuuruisen vastavoiman^{/2 s.17/}. Voiman ja vastavoiman laki on Newtonin kolmas laki. Toisinaan lakia kutsutaan *reaktiolaksi*. Reaktiovoima tarkoittaa vasta-voimaa.^{/6 s.100/}

Kun kappale aiheuttaa tasoon tietyn suuruisen voiman, aiheuttaa myös taso kappaleeseen yhtä suuren voiman, siten periaatteessa estäen kappaletta ”vajoamasta” tason sisään (kuva 4.6).

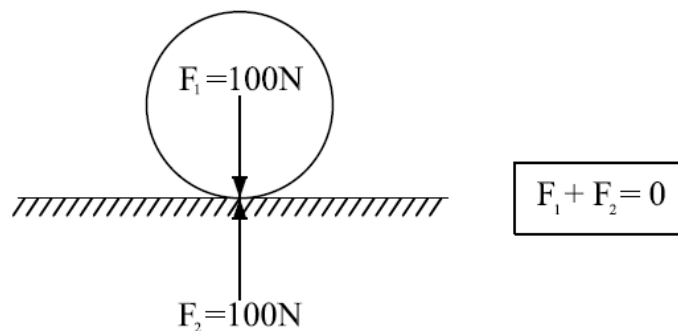


Kuva 21. Voiman ja vastavoiman laki. Pallo aiheuttaa allaan olevaan tasoon 100 Newtonin suuruisen voiman. Taso vaikuttaa palloon yhtä suurella voimalla.

4.2.4 Hitauden laki

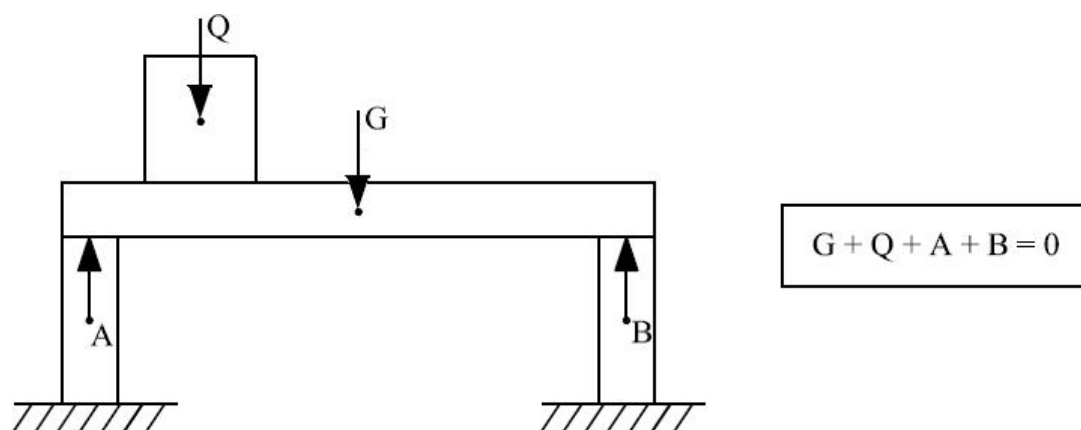
Kun kappale on levossa, on siihen vaikuttavien voimien summa nolla^{/2 s.17/}.

Hitauden laki on johdettu Newtonin ensimmäisestä laista: jos kappaleeseen ei vaikuta ulkoisia voimia, kappale pysyy levossa tai jatkaa tasaista suoraviivaista liikettä^{/2 s.17/}.



Kuva 22. Hitauden laki. Kappale on levossa. Siihen vaikuttavien voimien summa on nolla. Huomaa voimien suunta. Voima F_2 on voimaan F_1 verraten negatiivinen.

Hitauden laki on suoraa jatkoa voiman ja vastavoiman laille ja toimii rakentamisessa lähtökohdana esimerkiksi tukivoimia ratkaistaessa. Kaikki rakenteeseen ylhäältä kohdistuvat voimat on johdettava alaspäin, siten kumoten niiden vaikutukset (kuva 4.8).



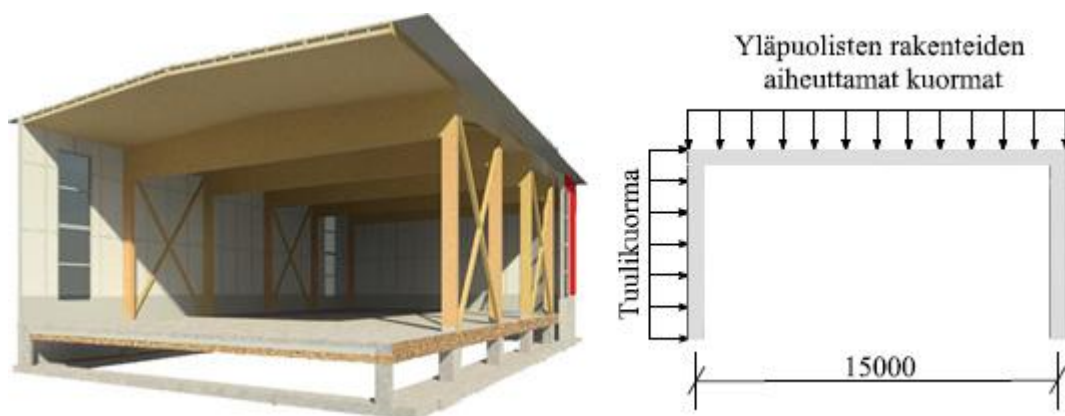
Kuva 23. Hitauden lain sovellus. Hyötykuorma ja palkin omapaino aiheuttavat palkin tukiin rasituksia. Tukien tukireaktiot ovat yhteensä yhtä suuret kuin ylhäältä tulevat voimat. Täten voimien summa on nolla. Huomaa voimien suunnat.

4.3 Newtonin ja Statiikan lakien sovelluksia

Edellä esitetyt lait ovat varsin pelkistettyjä ja niiden esimerkit huomattavan yksinkertaistettuja tosimaailman tapauksiin nähden. Niiden ymmärtäminen on kuitenkin perusvaatimus tutkittaessa todellisten rakenteiden toimintaa. Jotta voitaisiin analysoida erilaisten rakenteiden vakavuutta, on tarkastelussa kyettävä irrottamaan eri rakenneosat toisistaan ja tunnistamaan niihin vaikuttavat voimat^{/6 s.101/}.

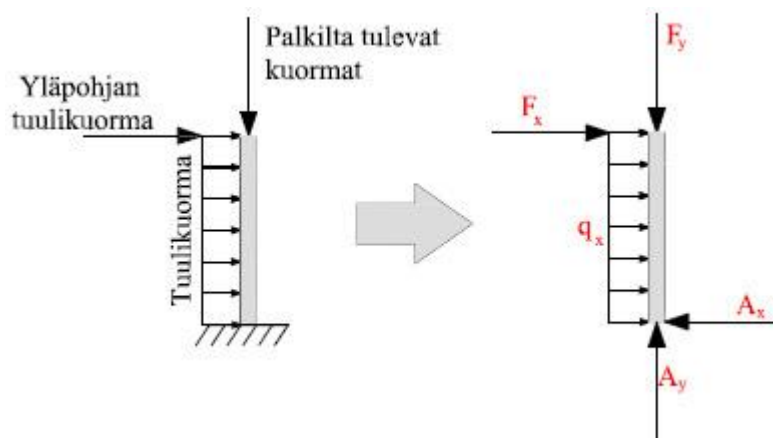
4.3.1 Tasapainossa olevan kappaleen ratkaisu

Jotta kyettäisiin ratkaisemaan kappaleeseen vaikuttavat voimat, on ensin hahmotettava tutkittava kappale ja siihen vaikuttavat muut kappaleet. Käytännössä tämä käy helpoimmin piirtämällä kohteesta yksinkertainen ja huolellinen kuva. Tästä kuvasta irrotetaan tutkittava kohde, jolle muodostetaan vapaakappalekuva. ^{/6 s.101/}



Kuva 24. Todellisesta rakenteesta on irrotettu tutkittavaksi yksi kantavan pilari-palkki -rungon osa.

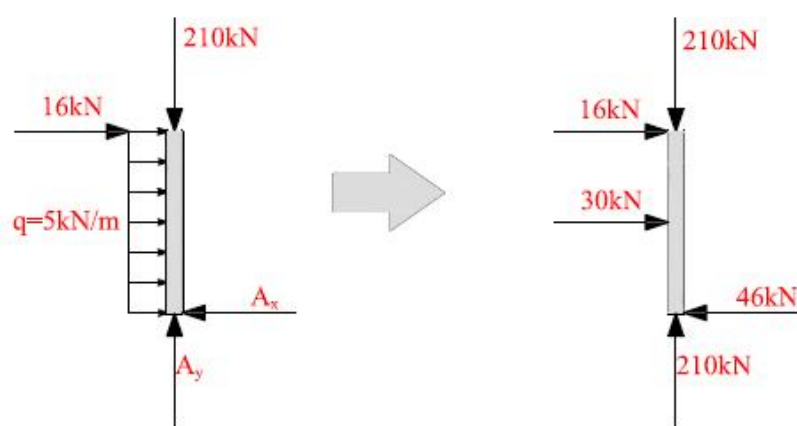
Vapaakappalekuva on piirros, joka sisältää kaikki kappaleeseen vaikuttavat ulkoiset voimat ^{/10/}. Jos tutkittavaan rakenteeseen kuuluu useita tutkittavia rakenneosia, on jokaisesta piirrettävä erillinen vapaakappalekuva ^{/6 s.101/}.



Kuva 25. Pilarin periaatepiirros ja siitä muodostettu vapaakappalekuva.

Kun kappaleeseen vaikuttavat voimat on selvitetty, jaetaan voimat komponentteihin, eli x- ja y-suuntaisiin voimiin. Massan aiheuttamat voimat saadaan määriteltyä kappaleen 5.2 mukaisesti, muut kuormat Eurokoodien mukaan.

Saadusta voimasysteemistä ratkaistaan tuntemattomat suureet. Lisäksi on tarkasteltava tulosten mielekkyyttä mahdollisten virheolettamusten vuoksi. Tukireaktioiden laskemista käsitellään kappaleessa 5.3.1.



Kuva 26. Kuusi metriä korkeasta pilarista ratkaistaan tukireaktiot. Tasainen kuorma on korvattu resultantilla.

5 VOIMAT

"Toivon, että viisautemme kasvaa voimamme mukana ja opettaa, että mitä vähemmän käytämme voimaa, sitä mahtavampaa se on."

-Thomas Jeffersson

5.1 Yleistä voimista

Kappaleiden vuorovaikutuksen voimakkuutta kuvataan käsitteellä *voima*. On olemassa *kosketusvoimia*, jotka ilmenevät kappaleiden koskettaessa toisiaan ja *kaukovoimia*, jotka vaikuttavat myös välimatkan päästä. ^{/3 s.23, 10/}

Voimaa merkitään kirjaimella F. Sen mittayksikkö SI-järjestelmässä on newton, N. ^{/7/}
Voima on niin sanottu *vektorisuure*, eli sillä on suunta ja suuruus.

Rakentamisessa tärkeitä voimia ovat erilaiset massan ja tuulen aiheuttamat voimat. Ne aiheuttavat rakennuksille rasituksia, jotka rakenteiden on kestävä.

5.2 Massan muuttaminen voimaksi

Maan vetovoima vetää kappaleita alaspäin. Näin muodostuu käsite, jota puhekielessä kutsutaan painoksi. Tämä ”paino” on kappaleen massan ja vetovoiman yhteisvaikutuksesta johtuva voima.

”Paino” voidaan muuttaa voimaksi kertomalla kappaleen massa painovoiman aiheuttamalla kiihtyvyydellä, eli putoamiskiihtyvyydellä. Maan vetovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyys g vaihtelee hieman leveyspiirin ja korkeuden mukaan. Putoamiskiihtyvyyden normaaliarvo g_n on $9,80665 \frac{m}{s^2}$. Likimääräisessä tarkastelussa tämä voidaan pyöristää $10 \frac{m}{s^2}$. Fysiikan laskuissa käytetään yleensä arvoa $9,81 \frac{m}{s^2}$, mutta rakentustekniikan kannalta ei järkevää käyttää niin tarkkaa arvoa. ^{/6 s.61/}

Alla olevissa esimerkeissä ja kaavoissa käytetään putoamiskiihtyvyyden likimääräistä arvoa $10\frac{m}{s^2}$, joten niissä putoamiskiihtyvyyden tunnus g on selvyuden vuoksi korvattu kiihtyvyyden tunnuksella a .

Kaava 5.1

$$[F] = [m] \times [a]$$

, jossa F = voima

m = massa

a = vakiokiihtyvyys

Taulukko 2. Materiaalien ohjeellisia kuutiopainoja ^{/10, 13 s.46-62/}.

Materiaali	kg/m ³	Materiaali	kg/m ³
Vesi, maito, olut	1000	Suomalainen sahatavara	400 – 500
Betoni (teräsbetoni)	2500	Teräs	7700 – 7850 (8000)

Esimerkki 5.1

Yksi litra vettä painaa yhden kilon (taulukko 2). Millaisen voiman astiassa oleva vesi aiheuttaa astian alla olevaan pöytään? Astian painoa ei oteta huomioon.

Kerrotaan veden massa vetovoiman aiheuttamalla kiihtyvyydellä:

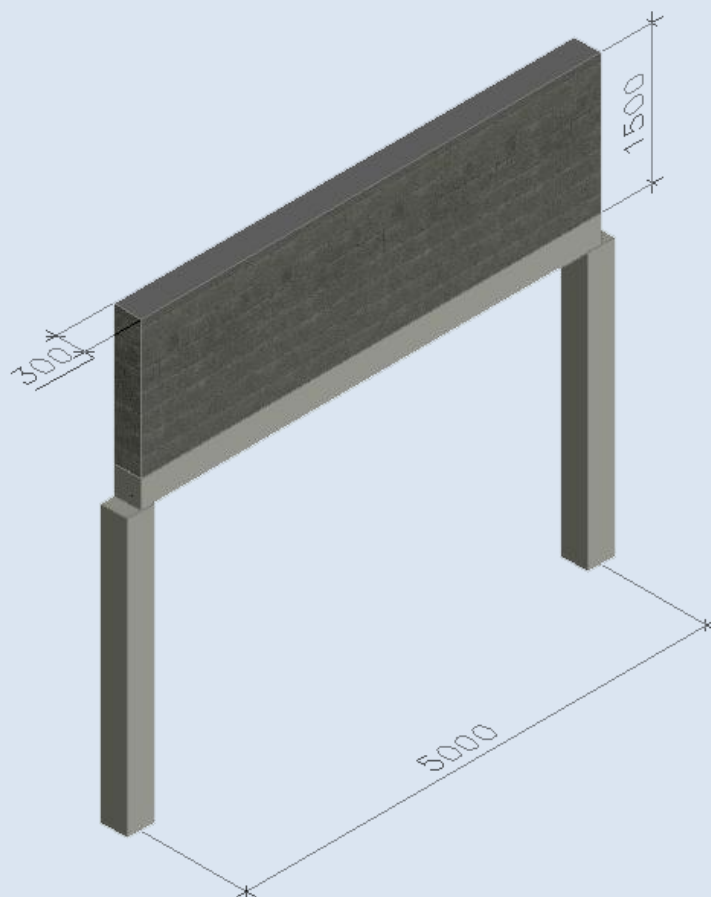
$$F = m \times a = 1kg \times 10\frac{m}{s^2}$$

Sievennetään saatu yksikkö SI-järjestelmän mukaiseksi suureksi:

$$F = 10\frac{kg \times m}{s^2} = 10N$$

Näin ollen voidaan todeta, että yksi litra vettä aiheuttaa sen alla olevaan kappaleeseen 10N voiman. Samalla periaatteella voidaan laskea esimerkiksi rakennuksen perustuksiin vaikuttavat voimat. Tällöin täytyy ottaa huomioon muun muassa rakennuksen omapaino, sekä lumi- ja hyötykuormat.

Esimerkki 5.2



Kuva 27. Betoniharkkoseinä aiheuttaa massallaan alla oleviin rakenteisiin voimia.

Betoniharkkoista muurattu seinä aiheuttaa allaan oleviin rakenteisiin voimia (kuva 24). Kuinka suuren voiman betoni aiheuttaa yksittäiseen sitä tukevaan pilariin? Palkin ja pilareiden painoa ei oteta huomioon. Seinä on 5000 mm leveä, 1500 mm korkea ja 300 mm paksu. Betonin todellinen paino riippuu sen koostumuksesta, tässä esimerkissä käytetään betonin painona normaalin betonin likimääräistä ohjearvoa $2500 \frac{kg}{m^3}$ (taulukko 2).

Lasketaan betonimuurin tilavuus:

$$V = 5m \times 1,5m \times 0,3m = 2,25m^3$$

Kerrotaan betonin tilavuus sen massalla ja vetovoiman aiheuttamalla kiihtyvyydellä:

$$F = V \times m \times a = 2,25m^3 \times 2500 \frac{kg}{m^3} \times 10 \frac{m}{s^2} = 56250 \frac{kg \times m}{s^2}$$

Sievennetään saatu yksikkö SI-järjestelmän mukaiseksi suureeksi:

$$F = 56250 \frac{kg \times m}{s^2} = 56250N \approx 56,3kN$$

Seinä aiheuttaa allaan oleviin rakenteisiin yhteensä 56,3kN:n voiman. Koska seinää tukee kaksi pilaria ja seinän massa on jakaantunut tasaisesti näiden välillä, jakaantuu myös seinän aiheuttama rasitus tasan pilareiden välillä. Yhden pilarin saama voima saadaan jakamalla voima pilareiden määrällä:

$$\frac{F}{n} = \frac{56,25kN}{2} \approx 28,1kN$$

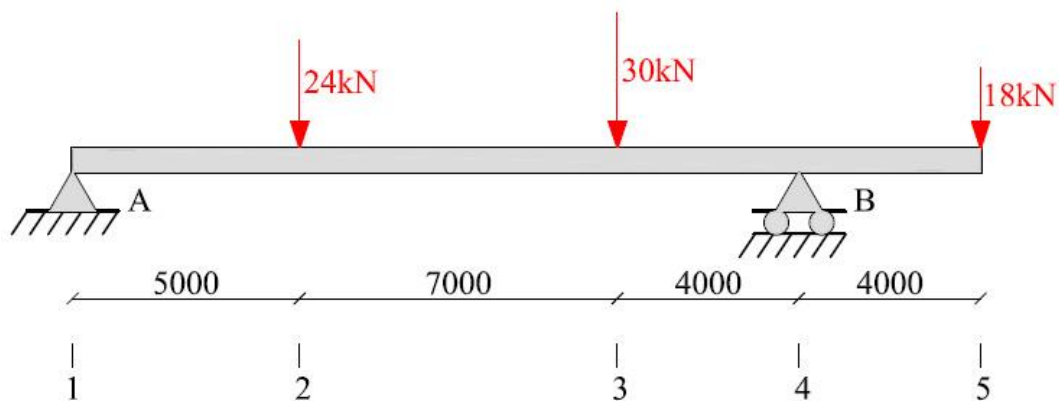
Yksittäinen pilari joutuu kestämään 28,1kN:n voiman.

5.3 Tukivoimat

Tukivoimaksi, eli tukireaktioksi, kutsutaan sellaista voimaa, joka vaikuttaa rakenteseen sen tukikohdassa. Tasokoordinaatistossa tukipisteellä on kolme vapausastetta: kaksi siirtymismahdollisuutta x- ja y-akselien suuntaan, sekä yksi kiertymismahdollisuus. Erilaiset tuet on esitelty kappaleessa *3.1.1 Tuet*.

5.3.1 Tukivoimien ratkaiseminen

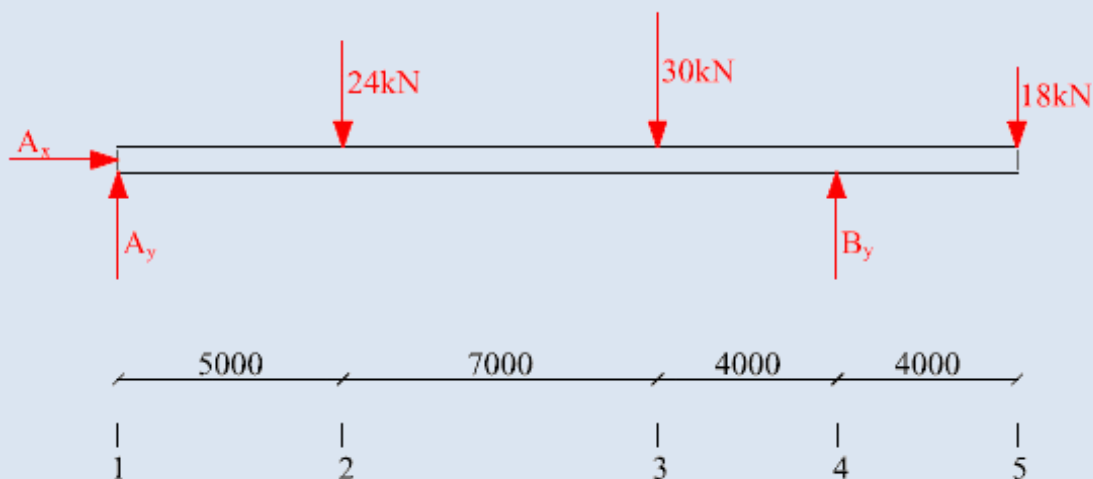
Palkin tukivoimat ratkaistaan jakamalla palkkiin kohdistuvien voimien summa tuille niiden sijainnin suhteen. Tällaista ratkaisutapaa kutsutaan myös tasapainoyhtälöksi. Palkin voimien ja tukireaktioiden summan on oltava nolla, jotta kappale olisi levossa. Tasapainoyhtälö voidaan ratkaista joko vasemmalta oikealle tai oikealta vasemmalle.



Kuva 28. Kappaleeseen kohdistuu kolme erisuuruista pistevoimaa. Pistevoimien summan on oltava yhtä suuri kuin tukien A ja B tukireaktioiden summa.

Esimerkki 5.3

Kuvan 28 palkkiin kohdistuu kolme erisuuruista pistevoimaa. Koska tiedetään, että kappale on levossa, saadaan tukien A ja B tukireaktiot saadaan ratkaistuksi tasapainoyhtälön avulla.



Kuva 29. Tuet on korvattu tukivoimilla.

Ratkaistaan yhtälö A:n suhteen vasemmalta oikealle:

$$(A_y + B_y) - (24\text{kN} + 30\text{kN} + 18\text{kN}) = 0 \quad (\text{Tasapainoehdon toteaminen})$$

$$\textcircled{A}: -24kN \times 5m - 30kN \times 12m + B_y \times 16m - 18kN \times 20m = 0$$

$$B_y \times 16m = 24kN \times 5m + 30kN \times 12m + 18kN \times 20m$$

$$B_y = \frac{24kN \times 5m + 30kN \times 12m + 18kN \times 20m}{16m}$$

$$B_y = 52,5kN$$

Tämän jälkeen A_y saadaan laskettua vähentämällä B_y pistevoimien summasta:

$$A_y = 24kN + 30kN + 18kN - B_y$$

$$A_y = 24kN + 30kN + 18kN - 52,5kN$$

$$A_y = 19,5kN$$

A_y saadaan selvitettyä myös ratkaisemalla yhtälö B:n suhteen oikealta vasemmalle. Tämä on myös hyvä keino todeta mahdolliset laskuvirheet. Huomaa, että koska pisteessä 5 oleva pistevoima on pisteen B ”väärällä” puolella, on se luonteeltaan A:n kuormaa keventävä. Siten se siis lasketaan A:n suhteen positiivisena.

$$\textcircled{B}: 18kN \times 4m - 30kN \times 4m - 24kN \times 11m + A_y \times 16m = 0$$

$$A_y \times 16m = -18kN \times 4m + 30kN \times 4m + 24kN \times 11m$$

$$A_y = \frac{-18kN \times 4m + 30kN \times 4m + 24kN \times 11m}{16m}$$

$$A_y = 19,5kN$$

Lopuksi on vielä hyvä tarkistaa, että ylös- ja alaspäin vaikuttavien voimien summat ovat yhtä suuret:

$$24kN + 30kN + 18kN = \mathbf{72kN}$$

$$A_y + B_y = 19,5kN + 52,5kN = \mathbf{72kN} \quad \text{OK}$$

6 MOMENTTI

"Antakaa minulle kiinteä piste, niin minä vipuan maan paikaltaan."

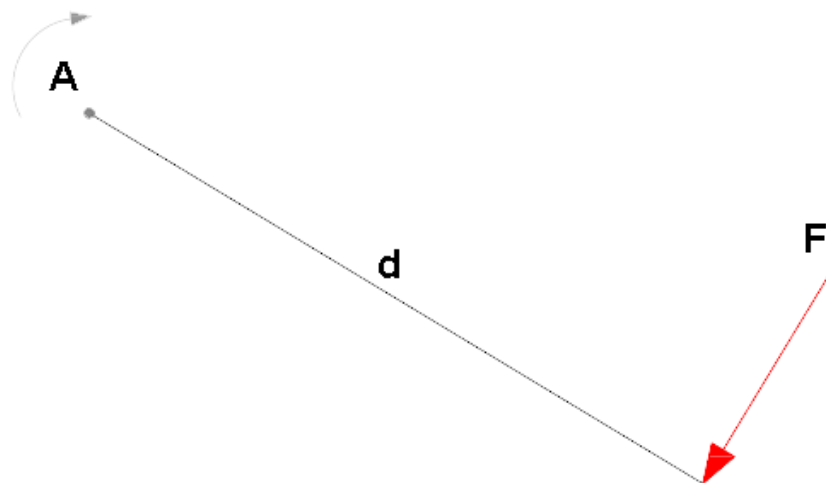
- Arkhimedes

6.1 Yleistä momentista

Ovi on helpompi avata työntämällä sitä kahvan kohdalta kuin läheltä oven saranoita. Kiinni juuttunut autonrenkaan pultti on helpompi vääntää auki käyttämällä rengasraudan jatkeena putkea. Molemmissa on kyse samasta ilmiöstä, momentista.

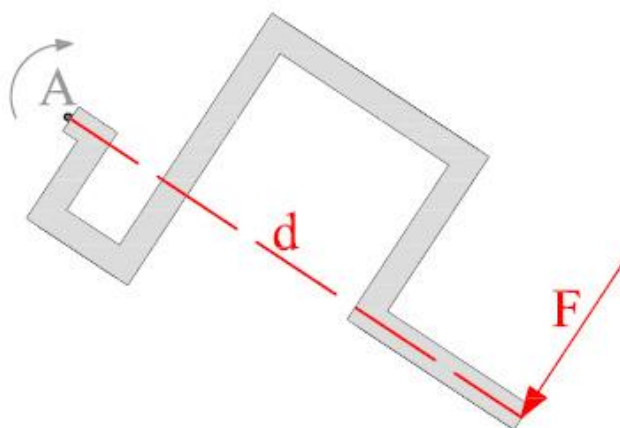
Pyörimisliikkeessä ja vääntymisessä on voiman suuruuden lisäksi tärkeää myös se mihin kohtaan kappaletta voima vaikuttaa. Voiman kykyä kiertää kappaletta jonkin akselin suhteen mitataan *momentilla*.^{/6 s.205/}

Momenttia on useaa eri lajia, rakentamisessa tärkein on *taivutusmomentti*. Toisinaan rakenteisiin muodostuu myös *vääntömomenttia*, joka on yleisempi mekaniikan ja kone tekniikan puolella.



Kuva 30. Voima F vääntää pistettä A varren d välityksellä. Mitä pidempi d on, sitä suurempi kiertovoima pisteeseen A aiheutuu.

Momentti on aina määritelty jonkin pisteen kautta kulkevan akselin suhteen^{/6 s.206/}. Kuvassa 6.1 piste A merkitsee momenttipistettä, eli akselia jonka suhteen kiertyminen tapahtuu. d merkitsee voiman vartta, joka on momenttipisteen ja voiman vaikutuspisteen välinen kohtisuora etäisyys. F on voima, joka varren välityksellä yrittää kiertää pistettä A .



Kuva 31. Voiman varsi d aina on suora momenttipisteen ja voiman vaikutuspisteen välillä vaikka voima todellisuudessa kulkeutuisikin pidempää reittiä varren kautta.

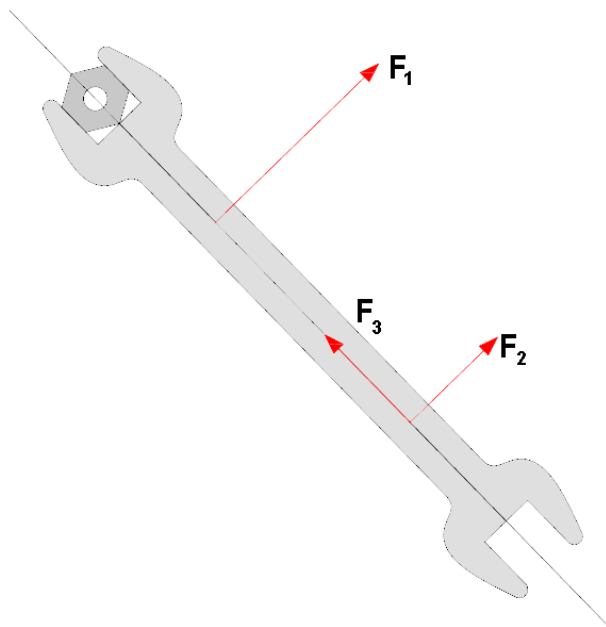
Momentin tunnus on M ja yksikkö newton-metri [Nm]. Se saadaan johdetuksi momentin kaavasta, voima kertaa voiman varsi. Voiman varsi on voiman vaikutuspisteen ja momenttipisteen välisen suoran pituus. Voiman varsi on aina kuvitteellinen suora, vaikka voima kulkeutuisikin käytännössä monimutkaisemman reitin kautta (kuva 31).^{/10/}

Kaava 6.1

$$M = F \times d$$

, jossa $M =$ momentti, eli kiertovaikutus [Nm]
 $F =$ voima [N]
 $d =$ voiman varsi [m]

Mitä kauempana voiman vaikutuskohta on momenttipisteestä, sitä suurempi vääntö momenttipisteeseen aiheutuu. Voiman momentti on suoraan verrannollinen käytettyyn voimaan ja voiman varseen.



Kuva 32. Kiintoavaimella väännetään pulttia. Esimerkkejä erilaisista voimista.

Esimerkki 6.1

Pulttia väännetään kiintoavaimella (kuva 29). Pultin vääntämiseksi vaaditaan 100 Nm:n voima. Voima F_1 on seitsemän senttimetrin päässä pultin keskipisteestä, eli momenttipisteestä, ja voima F_2 18 senttimetrin.

Jos kiintoavainta väännetään kohdasta 1 (voima F_1), tarvitaan pultin aukaisemiseen yli 1400 N:n voima:

$$F_1 = \frac{100Nm}{0,07m} = 1429N$$

Jos taas väännetään kohdasta 2 (voima F_2), on tarvittava voima huomattavasti pienempi:

$$F_2 = \frac{100Nm}{0,18m} = 556N$$

Myös voiman suunta on merkityksellinen. Voima F_3 vaikuttaa samassa pisteessä ja samalla voimakkuudella kuin voima F_2 , muttei silti aiheuta minkäänlaista kiertovaikutusta.

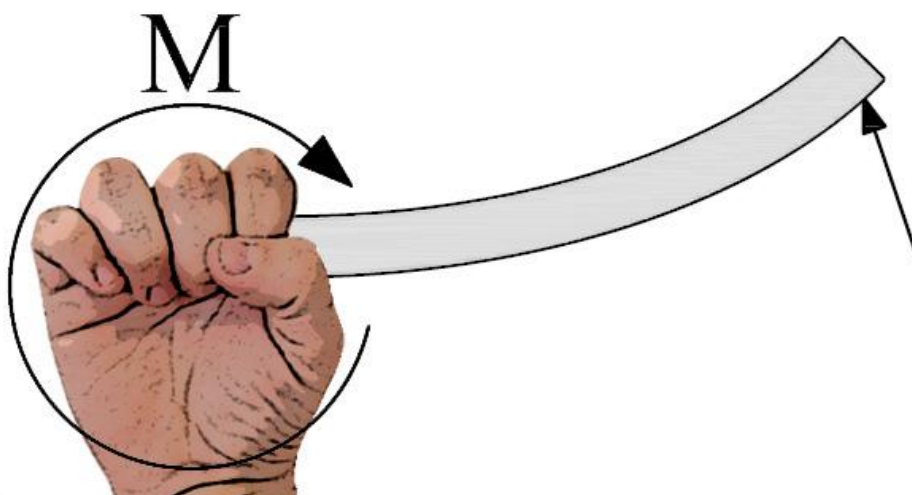
6.2 Vääntömomentti

Vääntömomenttia esiintyy enemmän konetekniikassa kuin rakentamisessa. Rakentamisessa yleisimpiä vääntömomentin aiheuttajia ovat pilareiden ja palkkien epäkeskeinen kuormitus. Yksinkertaisimmillaan vääntömomentti on voima kerrottuna vipuvarren pituudella. Vääntömomentti kuvaa jännitys jakauman kiertovaikutusta jonkin akselin ympäri. Esimerkin 6.1 tapaus on vääntömomenttia.

6.3 Taivutusmomentti

Taivutusmomentti on palkin sisäisen voimasysteemin muodostama momentti, joka estää kyseisen leikkauksen eri puolella olevia palkin osia kääntymästä toisiinsa näh-

den^{/1 s.82/}. Momentin suunta on vastakkainen voiman aiheuttamaan kiertosuuntaan nähden.

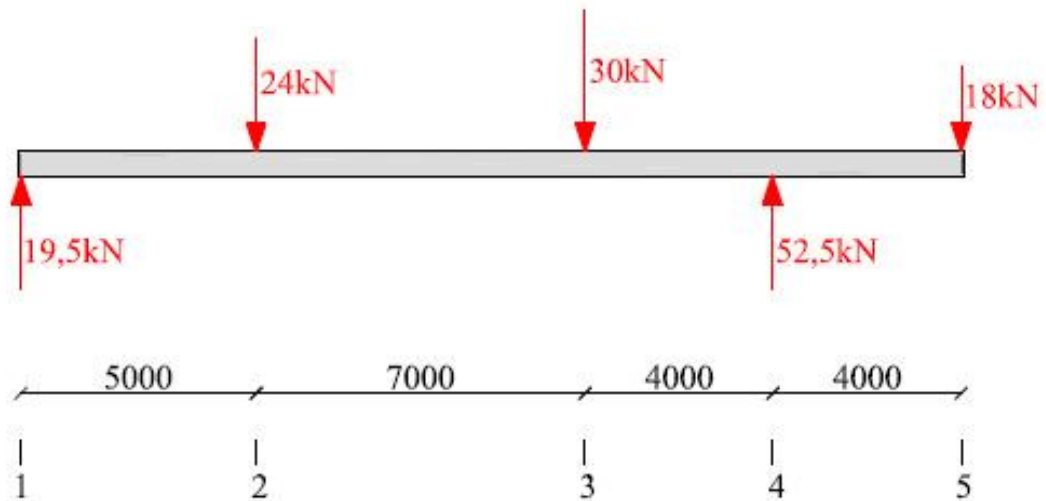


Kuva 33. Taivutusmomentti. Käsi vastustaa viivoittimen kiertymistä.

6.3.1 Taivutusmomentin laskeminen

Palkin taivutusmomentti voidaan laskea joko vasemmalta oikealle tai oikealta vasemmalle. Laskettaessa vasemmalta oikealle otetaan tarkasteltavan pisteen vasemmalla puolella olevien voimien momentit positiivisina myötäpäivään ja negatiivisina vastapäivään. Oikealta vasemmalle laskettaessa merkisäännöt ovat päinvastaiset.^{/1}

s.83/



Kuva 34. Palkin vapaakappalekuva, johon on merkitty pisteet numeroin 1-5.

6.3.2 Taivutusmomenttikuvion piirtäminen

Lasketuista momenteista voidaan piirtää taivutusmomenttikuvio, joka selventää momentin vaikutuksia kappaleeseen. Momenttikuvioista voi myös likimääräisesti tarkistaa missä on momentin maksimikohta.

Taivutusmomenttikuviossa piirretään taivutusmomentti palkin vedetylle puolelle siten, että pysty akseli esittää taivutusmomentin suuruuden ja vaak akseli palkin pituutta. Momenttikuviossa positiivinen puoli on aina nollaviivan alapuolella ja negatiivinen yläpuolella.^{/1, 10/}

Momenttikuviota piirrettäessä on hyvä pitää mielessä, että momenttipinta on piste-kuormien välissä suora ja tasaisen kuorman matkalla paraabeli. Kappaleen päissä momentti on nolla.

Esimerkki 6.2

Jatketaan esimerkin 5.3 palkin tutkimista (kuva 34). Lasketaan palkille tulevat momentit.

② tarkoittaa, että laskennassa otetaan huomioon kaikkien pisteen 2 vasemmalle

puolelle vaikuttavien voimien aiheuttamat momenttivaikutukset pisteen 2 suhteen siten, että myötäpäivään kiertävät voimat ovat positiivisia ja vastapäivään kiertävät negatiivisia.

$$\textcircled{2} M_t = 19,5\text{kN} \times 5\text{m} = 97,5\text{kNm}$$

$$\textcircled{3} M_t = 19,5\text{kN} \times 12\text{m} - 24\text{kN} \times 7\text{m} = 66,0\text{kNm}$$

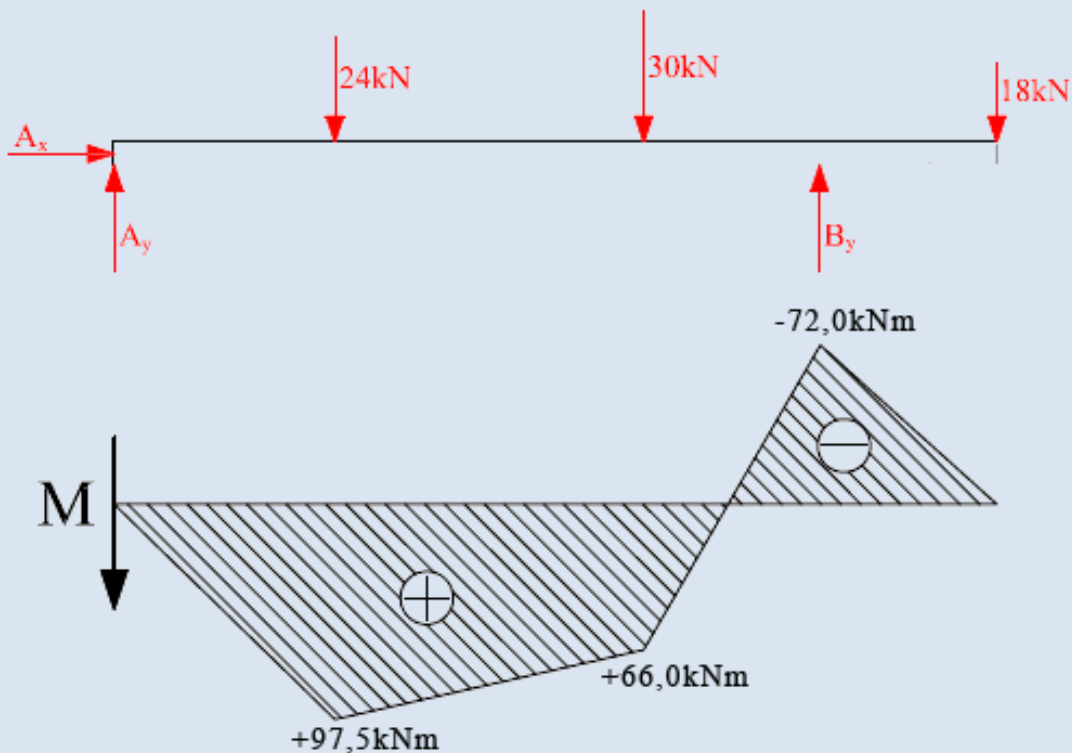
$$\textcircled{4} M_t = 19,5\text{kN} \times 16\text{m} - 24\text{kN} \times 11\text{m} - 30\text{kN} \times 4\text{m} = -72,0\text{kNm}$$

Tarkistetaan saatu tulos laskemalla pisteen 4 momentti oikealta vasemmalle:

$$\textcircled{4} M_t = -18\text{kN} \times 4\text{m} = -72,0\text{kNm}$$

Huomaa, että laskettaessa oikealta vasemmalle ovat vastapäivään pyörivät momentit positiivisia ja myötäpäivään pyörivät negatiivisia.

Saaduista tuloksista piirretään taivutusmomenttikuvio (kuva 35), josta nähdään, että momentin maksimiarvo on $+97,5\text{kNm}$.



Kuva 35. Taivutusmomenttikuvio.

7 LEIKKAUSVOIMA

”Mittaa kaikki, mitä voi mitata ja tee mitattavaksi se, mitä ei voi mitata.”

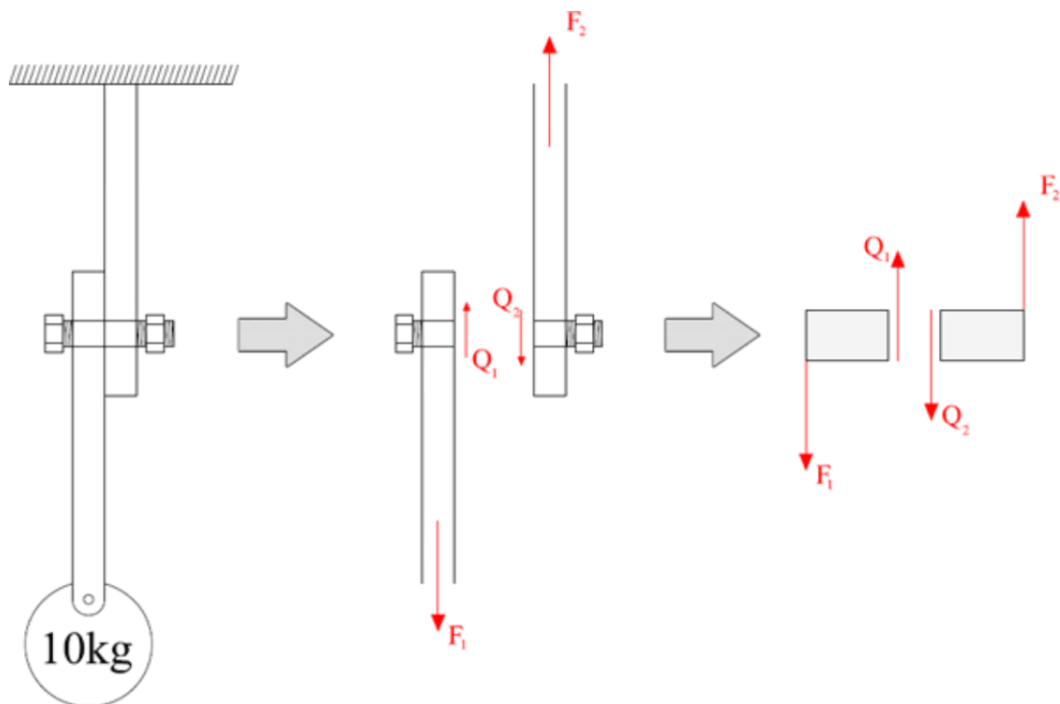
- Galileo Galilei

7.1 Yleistä leikkausvoimasta

Leikkausvoima on resultantti sellaisille kappaleen sisäisille voimille, jotka estävät kappaleen poikkileikkauksen eri puolella olevia osia siirtymästä toisiinsa nähden^{/2 s.171/}. Leikkausvoima tarkoittaa siis käytännössä sitä voimaa, joka kappaleen sisälle syntyy, kun se vastustaa ulkoisten voimien yritystä liikuttaa sitä molekyyllitasolla.

Jos leikkausvoima ylittää kappaleen leikkauskestävyyden, kappale murtuu, ja leikkautuu pahiten rasitetusta kohdastaan. Leikkauskestävyys on riippuvainen materiaalin lujuudesta ja poikkileikkauspinnan pinta-alasta^{/13 s.54/}.

Leikkausvoiman muodostumista on helpompi ymmärtää poikittaissuunnassa rasitetun pultin avulla (kuva 36). Leikkausvoimat Q_1 ja Q_2 vastustavat voimien F_1 ja F_2 yritystä liikuttaa pultin eri puolia pystysuunnassa toisiinsa nähden. Jos leikkausvoimat kasvavat liian suuriksi, pultti murtuu.



Kuva 36. Pulttiin muodostuu leikkausvoimia.

Leikkausvoiman tunnus on Q ja sen yksikkö on newton [N], rakentamisessa pääsääntöisesti käytössä kilonewton [kN]. Leikkausvoiman tunnuksena käytetään toisinaan, esimerkiksi Eurokoodeissa, kirjainta V . On kuitenkin huomattava, että V voi tarkoittaa myös tilavuutta^{/7 s.159/}. Leikkausvoiman merkkisäännön mukaan tutkittavan leikkauksen oikealla puolella positiivinen suunta on alas ja vasemmalla puolella ylös.^{/1 s.80, 2. s.171/}

7.2 Leikkausvoiman laskeminen

Leikkausvoima voidaan laskea joko vasemmalta oikealle tai oikealta vasemmalle. Laskettaessa vasemmalta oikealle otetaan tarkasteltavan pisteen vasemmalla puolella olevat ylöspäin suuntautuvat voimat huomioon positiivisina ja alaspäin suuntautuvat negatiivisina. Laskettaessa oikealta vasemmalle ovat merkkisäännöt päinvastaiset.

Esimerkki 7.1

Tarkastellaan kuva 36 tilannetta. Paino vetää pultin toista puolta alaspäin, kun taas pultin toista päätä vedetään ylöspäin.

Laskettaessa leikkausvoimaa Q_1 otetaan huomioon kaikki sen vasemmalla puolella olevat voimat. Voima F_1 aiheuttaa 100N voiman. Merkkisäännön mukaan kyseessä on negatiivinen voima, joten:

$$Q_1 = -F_1$$

$$Q_1 = -100N$$

Leikkausvoimaa Q_2 taas saadaan laskemalla oikealta vasemmalle. Koska kappale on liikkumaton, on siihen vaikuttavien ulkoisten voimien summan oltava nolla. Koska voimat F_1 ja F_2 ovat vastakkaisuuntaiset, on voima $F_2 = 100N$. Voiman F_2 suunta on ylöspäin, kyseessä on siis merkkisäännön mukaisesti negatiivinen voima. Voidaan siis todeta, että:

$$Q_2 = -F_2$$

$$Q_2 = -100N$$

Koska leikkausvoimat Q_1 ja Q_2 vaikuttavat samassa leikkauksessa, on luonnollista, että niiden arvo sama.

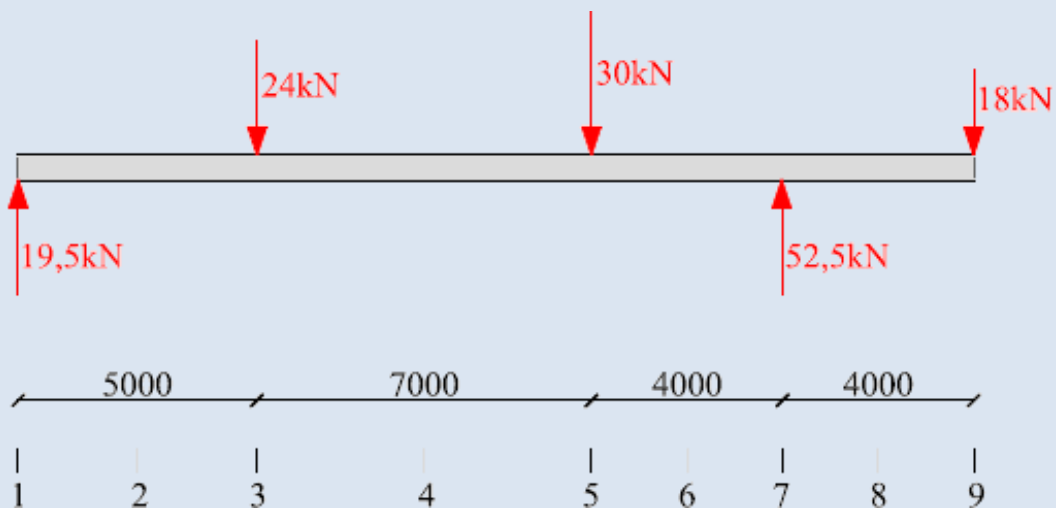
7.3 Leikkausvoimakuvion piirtäminen

Leikkausvoimakuvio piirretään siten, että pysty akseli osoittaa leikkausvoiman suuruuden ja vaak akseli palkin pituuden. Leikkausvoimakuviossa positiivinen puoli on aina nollaviivan alapuolella ja negatiivinen yläpuolella. ^{/1 s.81, 10/}

Leikkauskuviota piirrettäessä on hyvä pitää mielessä, että toisin kuin momenttikuviossa, leikkauskuviossa on vain suoria pintoja. Pistekuormien välissä leikkausvoimakuvio on vaakasuora ja tasaisen kuorman matkalla viisto suora. ^{/10/} Huomioitava on myös, että taivutusmomentin ääriarvon kohdalla leikkausvoiman merkki vaihtuu (kuva 38) ^{/1 s.91-92/}. Mikäli näin ei ole, on jommassakummassa kuviossa virhe.

Esimerkki 7.2

Jatketaan esimerkkiä 6.2 laskemalla siinä käytetyn palkin leikkausvoimat.



Kuva 37. Palkin vapaakappalekuva, johon on merkitty voimien vaikutuspisteet ja niiden välit numeroin 1-9.

$\uparrow n$ tarkoittaa, että otetaan huomioon kaikki pisteen n vasemmalla puolella olevat voimat siten, että ylöspäin vaikuttavat voimat ovat positiivisia.

$n \downarrow$ taas tarkoittaa, että otetaan huomioon kaikki pisteen n oikealla puolella olevat voimat siten, että alaspäin vaikuttavat voimat ovat positiivisia. Merkinnöissä on tär-

keää ilmoittaa erityisesti voiman laskentapuoli. Voimien positiiviset ja negatiiviset suunnat määräytyvät merkkisäännön mukaan.

Lasketaan palkin leikkausvoimat vasemmalta oikealle:

$$\uparrow 2 \quad Q = 19,5kN$$

$$\uparrow 4 \quad Q = 19,5kN - 24kN = -4,5kN$$

$$\uparrow 6 \quad Q = 19,5kN - 24kN - 30kN = -34,5kN$$

$$\uparrow 7 \quad Q = 19,5kN - 24kN - 30kN + 52,5kN = 18kN$$

Laskelma voidaan tarkistaa laskemalla arvoja myös oikealta vasemmalle. Lasketaan pisteiden 6 ja 8 leikkausvoimat:

$$8 \downarrow \quad Q = 18kN$$

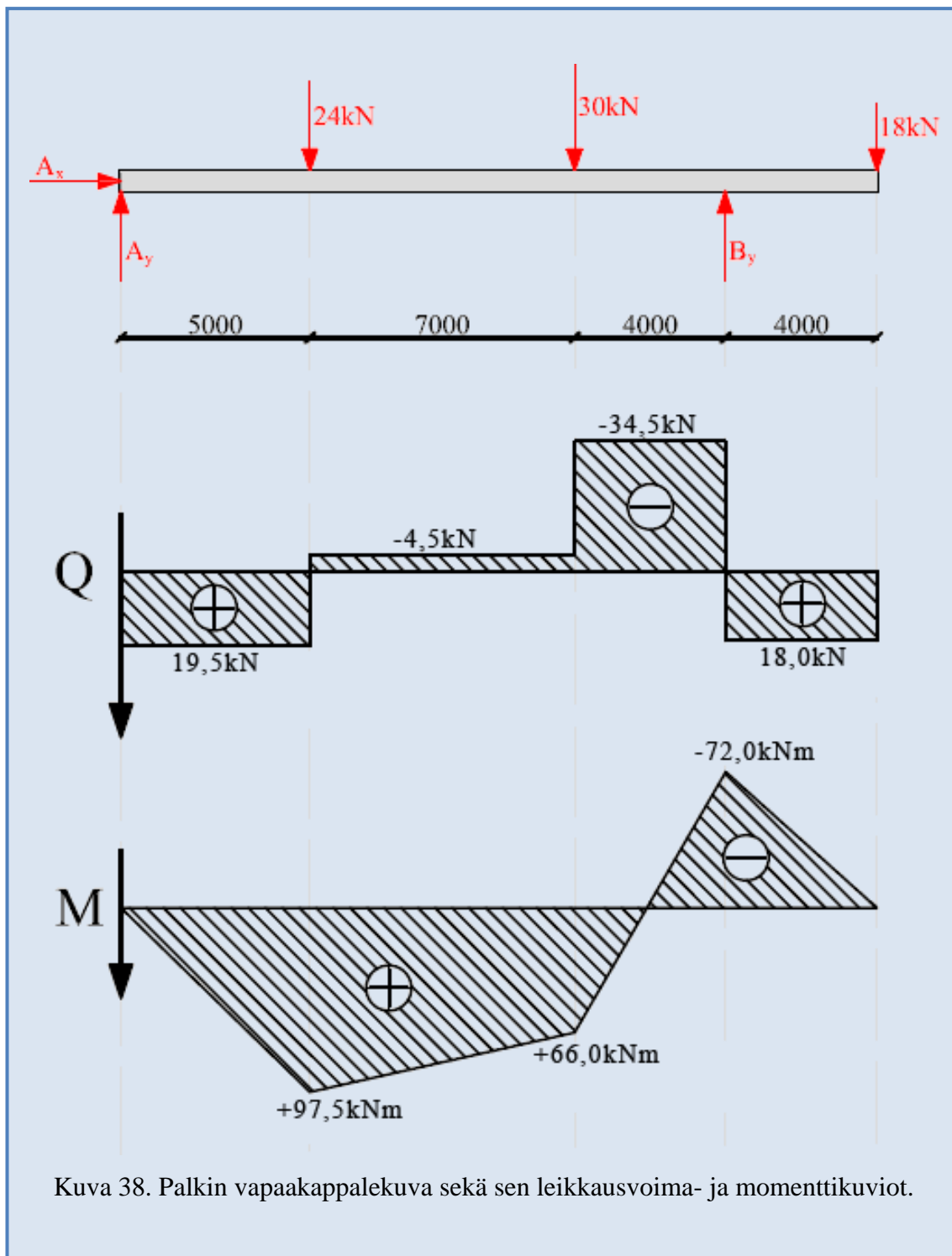
$$6 \downarrow \quad Q = 18kN - 52,5kN = -34,5kN$$

Koska tulokset ovat samat molemmista suunnista laskettuna, voidaan turvallisesti todeta, että laskelmat on tehty oikein. Koska tukireaktiot ovat pistevoimia ja siten vaikuttavat leikkausvoiman muodostumiseen, on niitä määriteltäessä oltava erityisen tarkka. Tukireaktioita laskettaessa tehty virhe aiheuttaa kaikkien sitä seuraaviin laskuihin virheitä. ^{/1 s.81/}

Piirretään saaduista tuloksista leikkausvoimakuvio. Yleensä on tapana piirtää allekkain sekä tutkittavan rakenteen vapaakappalekuva mittoineen, että leikkausvoima- ja momenttikuviot (kuva 38).

Tämä on hyödyllistä erityisesti siksi, että sen avulla voidaan nopeasti havaita kuvioihin tulleet virheet hyödyntämällä seuraavia yleisiä sääntöjä:

- Palkin kuormittamattomalla osalla Q-kuvio on vaakasuora viiva ja M-kuvio vino suora, jonka kulmakerroin on kyseisen välin leikkausvoiman suuruus.
- Pistevoiman kohdalla on Q-kuviossa sen voiman suuruinen hyppäys ja M-kuviossa terävä kärki.
- Tasaisen voiman kohdalla Q-kuvio on vino suora ja M-kuvio paraabeli.
- Leikkausvoiman merkki muuttuu taivutusmomentin ääriarvon kohdalla. ^{/1 s.92-}



Kuva 38. Palkin vapaakappalekuva sekä sen leikkausvoima- ja momenttikuviot.

LÄHTEET

1. Kärkkäinen, M & Mikkonen, P. Insinöörin mekaniikka. 1. painos. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy. 2006. 173 s.
2. Salmi, T. Statiikka. Tampere. Klingedahl Paino Oy. 1995. 388 s.
3. Salmi, T. Teknillisen mekaniikan perusteet. Tampere. Pressus Oy. 2000.
4. Riley, F., Sturges, L & Morris, D. Statics and mechanics of materials: an integrated approach. United States of America. John Wiley & Sons, Inc. 1995. 656 s.
5. Rakennustieto Oy. Rakentajan kalenteri 2003. Hämeenlinna. Karisto Oy. 2002. 1120 s.
6. Inkinen, P. & Tuohi, J. Momentti 1: Insinöörifysiikka. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy. 2005. 491 s.
7. Tammertekniikka. Tekniikan kaavasto. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy. 2002. 192 s.
8. Ahasalo, A. Rakenteiden mekaniikka 6: Staattisesti epämääräiset rakenteet. Oulu. 1982. 98 s.
9. Salonen, E-M. Statiikka. Helsinki. Otatieto Oy, Hakapaino Oy. 1995. 283 s.
10. Koskinen, J. Statiikka, luentomonisteet ja -kalvot. Satakunnan ammattikorkeakoulu. (Painamaton lähde)
11. Suomen standardisoimisliitto SFS. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. 2002. Standardi.
12. Eurokoodi help desk [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.4.2009]. Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi>.
13. Suomen standardisoimisliitto SFS. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2002. Standardi. 2005.
14. Wikipedia: Galileo Galilei [verkkodokumentti]. [Viitattu 3.5.2009]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei
15. Wikipedia: Koordinaatisto [verkkodokumentti]. [Viitattu 3.5.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Koordinaatisto>

LIITE 1 STATIIKAN SUOMI-ENGLANTI SANASTO

Statiikkaan liittyviä termejä ja niiden englanninkieliset käännökset

Suomi	English
Akseli	Axis
Aksiooma (peruslaki)	Axiom
Avaruus	Space
Dynamiikka	Dynamics
Fluidit (nesteet ja kaasut)	Fluids
Jäyhyysmomentti	Moment of inertia, Second moment
Jäykkä	Rigid
Jäykkä kappale	Solid body
Kimmomoduli	Modulus of elasticity
Kitka	Friction
Kosketusvoimat	Contact force
Kuorma, kuormitus	Load, loading
Leikkausvoima	Shear force
Leikkausvoimakuvaaja	Shear force diagram
Lujuusoppi	Strength of materials
Massa	Mass
Materiaalinen kappale	Body
Momentti	Moment
Nivel	Joint
Normaalivoima	Normal force
Painopiste	Centre of gravity
Palkki	Beam
Partikkeli	Particle
Peruskäsite	Basic concept
Pilari	Column
Pistevoima, pistekuorma	Concentrated load

Poikkileikkauspinta	Cross-section
Puristus	Compression
Resultantti	Resultant
Sisäiset voimat	Internal forces
Solidit (kiinteät kappaleet)	Solids
Staattisesti määrätty (hyperstaattinen)	Statically indeterminate
Staattisesti määräämätön (isostaattinen)	Statically determinate, isostatic
Statiikka	Statics
Taivutusmomentti	Bending moment
Taivutusvastus	Section modulus
Tasainen kuorma	Uniform load
Tasapaino	Equilibrium
Tukireaktio	Reaction force
Ulkoiset voimat	External forces
Vapaakappalekuva	Free-body-diagram
Vapausaste	Degrees of freedom
Vektori	Vector
Veto	Tension
Voima	Force