

УДК 621.316.7:519.863

Н.В. Коменда

Луцький національний технічний університет

## МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ДОБОВОЮ НЕРІВНОМІРністю НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОРФОМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ

*Запропонована система морфометричних характеристик графіка електричних навантажень. На їх основі проведена оцінка нерівномірності графіка та показані переваги морфометричних показників перед існуючими при побудові систем управління навантаженням.*

Ключові слова: *графік електричних навантажень, дисперсія, морфометричні показники.*

**Вступ.** На сучасному етапі однією з основних проблем економіки України є висока енергоємність ВВП, яка у три–п'ять разів перевищує показники розвинених країн [1]. Тому енергозбереження та ефективність енергоспоживання мають розглядатись як найважливіший додатковий енергоресурс України. Світовий досвід підтверджує, що витрати коштів на енергозберігальні заходи в 2,5-3 рази ефективніші, ніж вкладання їх у будівництво нових енергогенеруючих потужностей. Тому в умовах інвестиційних обмежень енергоощадливий шлях розвитку вітчизняної економіки є найбільш раціональним [1]. Зокрема, одним з пріоритетних напрямів розвитку енергетики є широке використання приладів, систем контролю, автоматизації і керування енергетичними об'єктами.

Одним з факторів, що негативно впливає на процес виробництва і передачі електричної енергії, є нерівномірність навантаження протягом доби [2,3]. Кінцева ефективність заходів із вирівнювання навантаження, безумовно, визначається довершеністю системи управління добовим навантаженням. Тому розробка та вдосконалення даних систем управління є актуальною.

**Постановка задачі.** Метою дослідження є розробка методів вирівнювання електричного навантаження на основі побудови моделі управління добовим навантаженням систем електропостачання (СЕП). Об'єкт дослідження – електричне навантаження систем електропостачання. Предмет дослідження – параметри електричного навантаження СЕП.

**Матеріали дослідження.** Задача вирівнювання електричного навантаження систем електропостачання є добре відомою та опрацьованою. Зокрема, в роботах [3-8] наводять принципи зміни режиму роботи приймачів, рекомендації по синтезу такого групового режиму роботи, що визначається порядком ввімкнень окремих електроприймачів в їх групі (споживачів-регуляторів), який призводить до:

- зменшення максимального значення потужності (зниження півгодинного максимуму навантаження);
- зменшення втрат потужності і електричної енергії в мережі.

Кількісну оцінку нерівномірності навантаження прийнято здійснювати за величиною дисперсії навантаження  $D$ , розглядаючи при цьому графік як послідовність випадкових величин, або рядом інших коефіцієнтів [3,5-7].

Дисперсія навантаження визначається таким чином:

$$D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (p_i - P_c)^2, \quad (1)$$

де

$p_i$  – величина потужності навантаження, що відповідає  $i$ -му спостереженню;

$n$  – кількість спостережень миттєвих значень потужності  $p_i$ ;

$P_c$  – середнє значення потужності навантаження.

Використання даного показника не дозволяє здійснювати всесторонню оцінку нерівномірності навантаження, оскільки різні за формою графіки електричного навантаження можуть мати однакову дисперсію. Даний показник оцінює нерівномірність, як узагальнене

відхилення від середнього значення потужності. Відхилення може бути незмінним. Таким чином, дисперсія не дає детальної характеристики нерівномірності навантаження.

Нерівномірність навантаження характеризують також коефіцієнти форми  $K_\phi$ , максимуму  $K_M$ , заповнення  $K_z$  та нерівномірності  $K_n$  графіка навантаження:

$$K_\phi = \frac{P_{ск}}{P_c}, K_M = \frac{P_M}{P_c}, K_z = \frac{P_c}{P_M}, K_n = \frac{P_{\min}}{P_M}, \quad (2)$$

де  $P_{ск}$  – середньоквадратичне значення потужності графіка навантаження;

$P_M, P_{\min}$  – максимальне та мінімальне значення потужності;

Коефіцієнт форми надає оцінку нерівномірності по-суті близьку до дисперсії. Інші коефіцієнти лише характеризують нерівномірність в окремих точках графіка тобто не відображають нерівномірності в цілому.

Для отримання більш детальної оцінки нерівномірності навантаження, на нашу думку, доцільно скористатись морфометричним підходом до аналізу форми об'єктів [9]. Морфометрична оцінка вдало зарекомендувала себе при дослідженні геометричних параметрів об'єктів в інших галузях, зокрема медицині, при контролі якості виробництва пластмас, оцінці домішок в різних сумішах, і т.ін [9-12]. Переваги використання даного підходу зручно розкрити на прикладі морфометричного аналізу типового добового графіка електричного навантаження (ГЕН), який наведено на рис. 1.

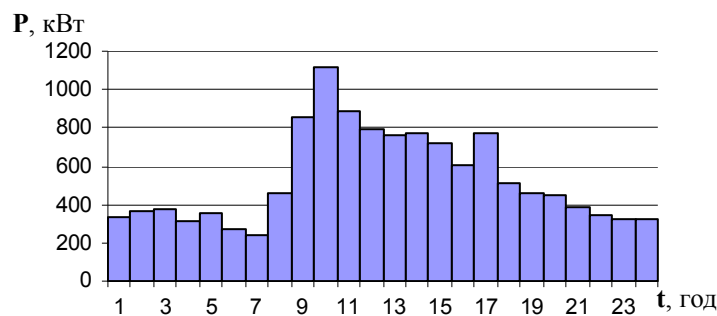


Рис. 1. Типовий приклад добового графіка навантаження

Здійснимо його трансформацію у вигляд придатний до використання морфометричного аналізу. Відповідно на рис. 2 представлена діаграма радарного типу. Відстань від центру координат  $(x_0, y_0)$  до точки діаграми відповідає значенню потужності, що споживається в даний момент часу.

Розглянемо морфометричні характеристики діаграми: округлість, видовження, випуклість, та компактність [9].

**Округлість** ( $M_1$ ) – визначається як відношення радіуса вписаного кола до радіуса описаного кола фігури графіка навантаження (рис.2):

$$M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}, \quad (3)$$

де  $R_{\min}$  – радіус вписаного кола;  $R_{\max}$  – радіус описаного кола.

У випадку ГЕН, рис. 1, округлість – 38,3%, а для ідеально рівномірного ГЕН – 100%.

**Видовження** ( $M_2$ ) – визначається, як відношення між довжинами перпендикуляра до головної осі діаграми ( $L_2$ ) та головною віссю діаграми навантаження ( $L_1$ ), рис.2.  $L_1$  визначається як найдовша вісь, що проходить через центр ваги фігури діаграми,  $(x_u, y_u)$ :

$$M_2 = \frac{L_2}{L_1} \cdot 100\%. \quad (3)$$

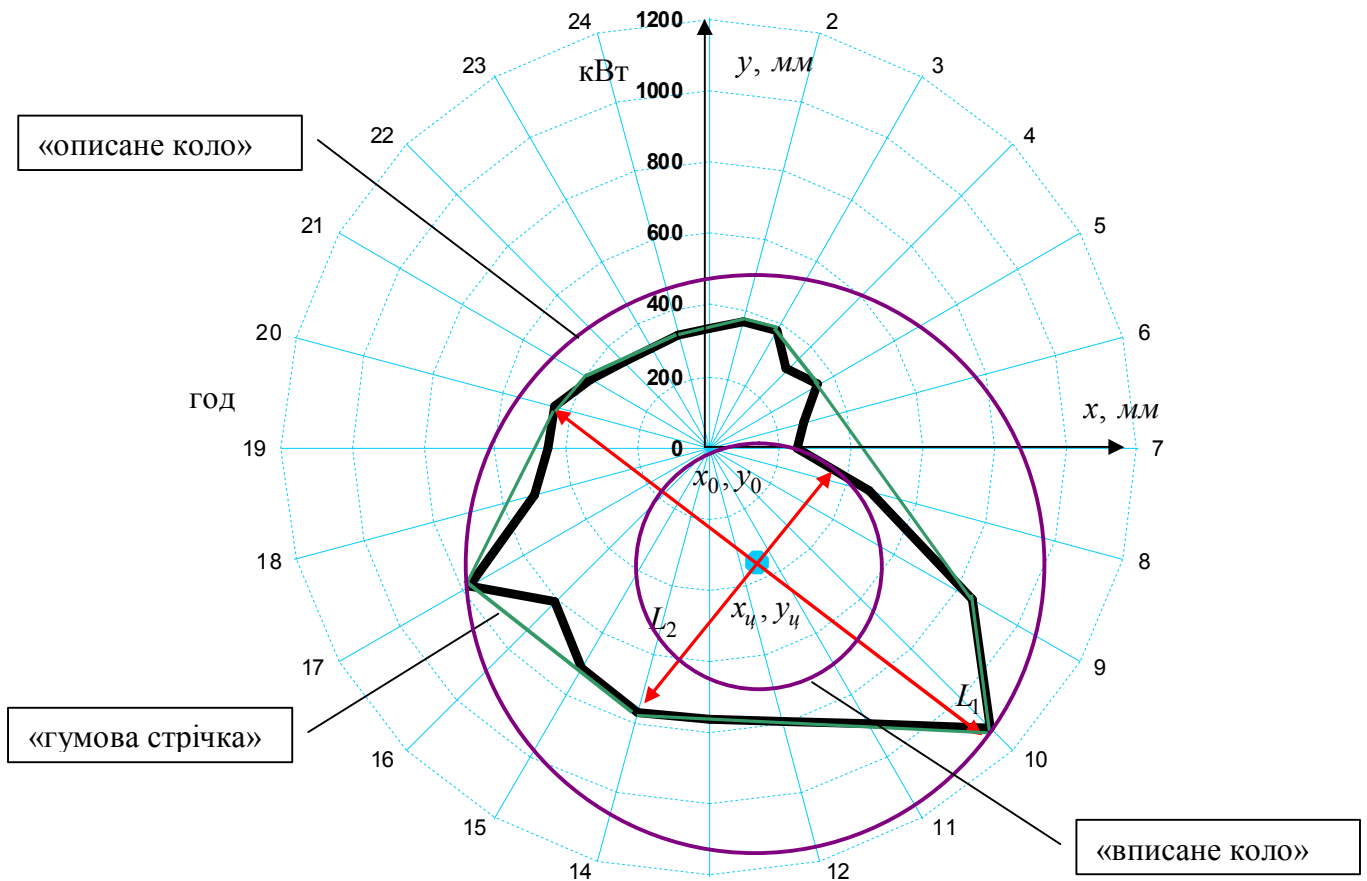


Рис. 2. Морфометрична діаграма ГЕН

З рис. 2 видно, що  $L_1$  з'єднує точки діаграми, що відповідають максимальним навантаженням (вечірньому (20 год) і ранішньому (10 год)), а  $L_2$ , будучи перпендикуляром до  $L_1$ , з'єднує точки нічного (7 год) і денного мінімуму навантажень (14 год) [13]. Тобто, вісь  $L_1$  формується максимальними (пік) навантаженнями, а  $L_2$  – мінімальними (ніч, напівпік). Чим більша різниця між  $L_1$  та  $L_2$  тим більше видовження ГЕН. У випадку ГЕН, рис. 1, видовження – 59%, а для ідеально рівномірного ГЕН – 100%.

**Випуклість** ( $M_3$ ) обчислюється, як відношення між площею випуклої фігури  $S_B$  і площею фігури  $S_D$ , обмеженою діаграмою. Випукла фігура формується натягнутою уявною 'гумовою стрічкою' навколо діаграми, рис.2:

$$M_3 = \frac{S_B}{S_D} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Випуклість відповідає відношенню величини споживання електричної енергії, яке було б, якби споживач працював тільки з заданими максимальними навантаженнями, до реальної величини споживання електроенергії. Випуклість по суті є інтегральним коефіцієнтом максимуму, оскільки вона прямо пропорційно залежить від суми всіх локальних максимумів.

Для нашого прикладу випуклість - 91,8%. Для ідеально рівномірного ГЕН випуклість - 100%.

**Компактність** ( $M_4$ ) – визначається як відношення між площею фігури  $S_D$ , яка обмежена діаграмою, і квадратом її периметра  $P$ :

$$M_4 = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{\Pi^2} \cdot 100\% \tag{5}$$

Для нашого прикладу  $\Pi = 5578,38$ ,  $S_D = 1144222,1$ .

$$M_4 = \frac{4 \cdot \pi \cdot 1144222,11}{5578,38^2} = 46,2\%.$$

Як видно з проведеного аналізу, при збільшенні піків і провалів ГЕН співвідношення між площею  $S_D$  і периметром  $\Pi$  буде зменшуватись. Для ідеально рівномірного ГЕН компактність - 100%.

Проведений аналіз показує, що морфометрія дозволяє більш повно характеризувати ГЕН, чим існуючі методи. Як було показано, в [12] адекватна модель може бути побудована на основі використання морфометричних параметрів, оскільки вони дають змогу оцінити ГЕН значно детальніше, а в деяких випадках традиційно вживані показники не надають можливості оцінити зміну ГЕН взагалі.

Групуючи та аналізуючи ряд морфометричних параметрів, ми отримуємо комплексний критерій оцінки нерівномірності ГЕН:

$$F = \begin{cases} M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}} \\ M_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{\Pi^2} \\ M_3 = \frac{L_2}{L_1} \\ M_4 = \frac{S_{convex\ hull}}{S} \end{cases} \Rightarrow \max. \tag{6}$$

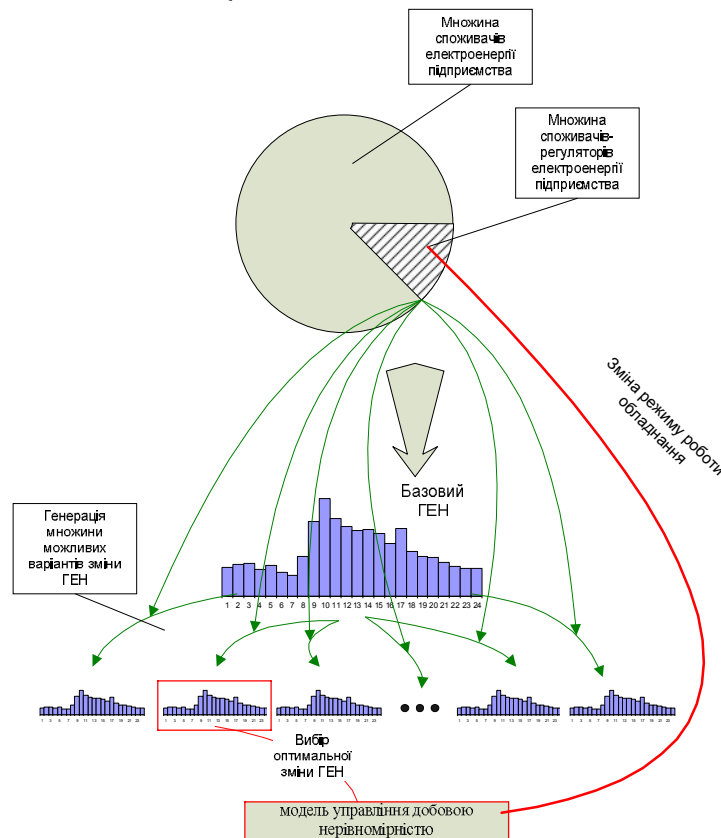


Рис 3. Схема процесу оптимізації на основі моделі управління добовою нерівномірністю.

На основі (6) доцільно утворити модель управління добовою нерівномірністю, яка полягає в оцінці усіх можливих змін ГЕН внаслідок зміни режиму роботи усіх наявних споживачів-регуляторів, що дозволить вибрати технічно доцільний та економічно виправданий варіант зміни режиму роботи споживачів-регуляторів.

Для прикладу, розглянемо промислове підприємство, на якому є множина приймачів електричної енергії  $N$ . Був здійснений їх аналіз та відокремлена субмножина споживачів регуляторів  $N_{S-R} \in N$ . Необхідно здійснити оцінку добової нерівномірності ГЕН та запропонувати шлях до зменшення добової нерівномірності навантаження.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно здійснити ряд кроків.

1. Здійснити розрахунок критерія  $F$  для вихідного графіка навантаження  $G$ .
  2. Відокремити споживачів з множини  $N$ , які не можуть змінювати свій добовий графік навантаження – множину  $N_{N-R} \in N$  і згенерувати базовий ГЕН -  $G_{N-R}$ .
  3. Для всіх можливих режимів роботи споживачів з множини  $N_{S-R} \in N$  згенерувати множину добових індивідуальних графіків навантаження  $G_{S-R}$ .
  4. Шляхом інтегрування відповідних значень множин  $G_{N-R}$  та  $G_{S-R}$  отримати множину графіків навантаження  $G_{REZ}$ , що містить усі можливі варіанти зміни ГЕН за допомогою наявних споживачів-регуляторів.
  5. Здійснити розрахунок критерія  $F$  для  $G_{REZ}$ .
  6. На основі аналізу  $F$  здійснити управління навантаженням з метою зменшення його добової нерівномірності.
- Схематично процес можна зобразити наступним чином – рис.3.

Технічну реалізацію процесу моніторингу і запису інформації про електроспоживання доцільно здійснити на основі використання серверної технології та множини контролерів електроспоживання (для прикладу Radio/router module for Kamstrup electricity meters [14]) (рис.4). Контролери КЕ передають інформацію про електроспоживання приймачами електричної енергії на сервер, де здійснюється її обробка та зберігання. Слід зауважити, що дані контролери передають інформацію через радіо канали зв'язку, тобто, не потребують інсталяцій додаткових ліній зв'язку.

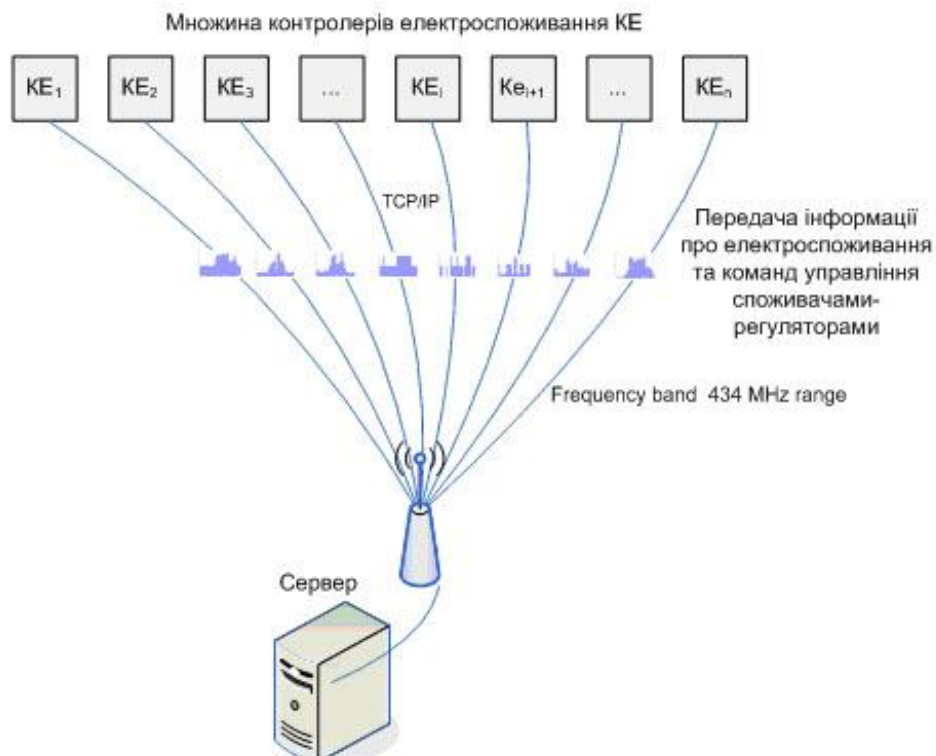


Рис 4. Схема системи управління.

Формалізацію запропонованої моделі доцільно здійснити у відповідності .NET технологією на основі об'єктно-орієнтованого програмування (C# або VB.NET). .NET технологія надасть можливість використати сучасні технології для управління навантаженням на основі запропонованої моделі, використати стандартні процедури зв'язку і управління технічними засобами регулювання ГЕН. Крім цього розроблені стандартні бібліотеки алгоритмів для здійснення морфометричного аналізу [9] дозволяють легко здійснити формалізацію запропонованої моделі.

**Висновки.** Мета даної статті полягала в розробці методів вирівнювання електричного навантаження та побудові моделі управління добовим навантаженням, що би дозволила здійснювати детальний аналіз нерівномірності навантаження та генерувати керувальні сигнали до споживачів-регуляторів задля покращення його параметрів. Запропонований метод, що оснований на використанні моделі управління добовим навантаженням є зручним до використання, адекватним у всіх можливих випадках і дозволяє здійснювати значно детальнішу оцінку нерівномірності ніж традиційно вживані методи аналізу. Встановлено, що запропонований метод має такі переваги: 1. Використання морфометричних показників для аналізу нерівномірності добового електроспоживання надає можливість більш детальної оцінки ГЕН, порівнюючи з існуючими показниками; 2. Запропонована схема процесу оптимізації дозволяє віртуально розглянути та оцінити всі можливі шляхи зміни нерівномірності навантаження, внаслідок виконання того чи іншого керувального впливу та запропонувати оптимальний варіант, що дозволить оперативно та адекватно вирішувати задачі управління навантаженням; 3. На основі запропонованого критерію оцінки, моделі та сучасної .NET технології доволі просто створити комп'ютерну реалізацію, що дозволить легко інтегрувати її з сучасними системами управління виробництвом.

Основним напрямком подальших досліджень з розвитку методу є подальше дослідження морфометричного підходу до аналізу нерівномірності навантаження, розробка методик пошуку споживачів-регуляторів, побудови інтегрованих моделей.

1. Долінський А.А. Энергозбереження та екологічні проблеми енергетики. – К.: Вісн. НАН України, 2006, № 2. – С. 24- с.32
2. Праховник А.В. Управление электропотреблением // Изв.АН СССР: Энергетика и транспорт. – 1990. – №1. – С. 5-16.
3. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 182.
4. Дикмаров С.В., Садовский Г.Г. Регулирование мощности при производстве и потреблении электроэнергии. – К.: Техніка, 1981. – С. 126.
5. Гордеев В.И. Основа решения задачи выравнивания графиков нагрузки сетей электроснабжения. – Электромеханика. – 1979. – №10. – С. 931-935.
6. Указания по регулированию режимов электропотребления на предприятиях угольной промышленности. М.: Минуглепром СССР, 1981.
7. Гельтман А.З., Ильина Л.В. Выравнивание графиков нагрузки энергетических систем и выбор типа электростанций для покрытия пиковых нагрузок. – М.: Наука, 1968. – С. 34-42.
8. Чукреев Ю.Я., Хохлов М.В., Алла Э.А. Оперативное управление режимами региональной энергосистемы с использованием нейронных сетей // Электричество. – 2000.- №4. – С. 2-11.
9. Micro-optik Image Morphometry Analysis Software. Installation and operational guide [Електронний ресурс] / Т. Komenda. – Режим доступу до журн.: [www.micro-optik.com/MIMAS.pdf](http://www.micro-optik.com/MIMAS.pdf)
10. Morphometric study of early postnatal development in the left and right ventricular myocardium of the rat. I. Hypertrophy, hyperplasia, and binucleation of myocytes / P Anversa, G Olivetti and AV Loud – Режим доступу до журн.: <http://circres.ahajournals.org/cgi/reprint/46/4/495>
11. The fractal area of cell nucleus in a thyroid tumors cytometry/ S.V. Gloushen, M.A. Ivanova, N.S. Gordienko. – Режим доступу до журн.: <http://www.bsmu.by/bmm/04.2005/14.html>
12. Демов О.Д., Коменда Н.В., Коменда Т.І. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень// Промелектро. – 2008. – №4. – С. 22-25.
13. Межі тарифних зон для розрахунків споживачів за електричну енергію/. – Ел. ресурс: [http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art\\_id=58966&cat](http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=58966&cat)
14. Radio/router module for Kamstrup electricity meters/. – Режим доступу до журн.: <http://www.kamstrup.com/media/794/file.pdf>