

# ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA

ICS 27.140 **Prosinec 2009**

## **Hydraulické stroje, radiální a axiální - Metoda přepočtu hydraulických charakteristik z modelu na prototyp**

**ČSN**  
**EN 62097**  
08 5023

idt IEC 62097:2009

Hydraulic machines, radial and axial - Performance conversion method from model to prototype

Machines hydrauliques, radiales et axiales - Méthode de conversion des performances du modele au prototype

Hydraulische Maschinen, radial und axial - Leistungsumrechnung vom Modell zum Prototyp

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 62097:2009. Překlad byl zajištěn Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Má stejný status jako oficiální verze.

This standard is the Czech version of the European Standard EN 62097:2009. It was translated by Czech Office for Standards, Metrology and Testing. It has the same status as the official version.

### Národní předmluva

#### Informace o citovaných normativních dokumentech

IEC 60193:1999 zavedena v ČSN EN 60193:1999 (08 5009) Vodní turbíny, akumulární čerpadla a čerpadlové turbíny - Přejímací zkoušky na modelu (idt EN 60193:1999, idt IEC 60193:1999)

#### Informativní údaje z IEC 62097:2009

Tato mezinárodní norma byla připravena technickou komisí IEC TC 4 Vodní turbíny.

Text této normy vychází z těchto dokumentů:

FDIS  
4/242A/FDIS

Zpráva o hlasování  
4/243/RVD

Úplné informace o hlasování při schvalování této normy je možné nalézt ve zprávě o hlasování uvedené v tabulce.

Tato publikace byla navržena v souladu se Směrnicemi ISO/IEC, Část 2.

Tato publikace obsahuje připojené soubory tvořené souborem Excel<sup>®</sup>). U těchto souborů se předpokládá užití jako doplňku a tvoří integrovanou část této publikace.

Komise rozhodla, že obsah této publikace se nebude měnit až do konečného data vyznačeného na internetové adrese IEC „<http://webstore.iec.ch>“ v termínu příslušejícímu dané publikaci. Po tomto termínu bude publikace

- znovu potvrzena;
- zrušena;
- nahrazena revidovaným vydáním, nebo
- změněna.

Vypracování normy

Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s., IČ 25305034, Ing. Jiří Špidla, CSc.

Technická normalizační komise: TNK 97, Elektroenergetika

Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Ing. Jiří Holub

**EVROPSKÁ NORMA EN 62097**  
**EUROPEAN STANDARD**  
**NORME EUROPÉENNE**  
**EUROPÄISCHE NORM** Květen 2009

ICS 27.140

**Hydraulické stroje, radiální a axiální - Metoda přepočtu hydraulických charakteristik z modelu na prototyp (IEC 62097:2009)**

Hydraulic machines, radial and axial - Performance conversion method from model to prototype  
(IEC 62097:2009)

Machines hydrauliques, radiales et axiales - Méthode de conversion des performances du modèle au prototype  
(CEI 62097:2009)

Hydraulische Maschinen, radial und axial - Leistungsumrechnung vom Modell zum Prototyp  
(IEC 62097:2009)

Tato evropská norma byla schválena CENELEC 2009-03-01. Členové CENELEC jsou povinni splnit Vnitřní předpisy CEN/CENELEC, v nichž jsou stanoveny podmínky, za kterých se musí této evropské normě bez jakýchkoliv modifikací dát status národní normy.

Aktualizované seznamy a bibliografické citace týkající se těchto národních norem lze obdržet na vyžádání v Ústředním sekretariátu nebo u kteréhokoliv člena CENELEC.

Tato evropská norma existuje ve třech oficiálních verzích (anglické, francouzské, německé). Verze v každém jiném jazyce přeložená členem CENELEC do jeho vlastního jazyka, za kterou zodpovídá a kterou notifikuje Ústřednímu sekretariátu, má stejný status jako oficiální verze.

**CENELEC**

**Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice**  
**European Committee for Electrotechnical Standardization**  
**Comité Européen de Normalisation Electrotechnique**  
**Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung**

## Ústřední sekretariát: avenue Marnix 17, B-1000 Brusel

© 2009 CENELEC Veškerá práva pro využití v jakékoli formě a jakýmikoli prostředky jsou celosvětově vyhrazena členům CENELEC.  
Ref. č. EN 62097:2009 E

Členy CENELEC jsou národní elektrotechnické komitety Belgie, Bulharska, České republiky, Dánska, Estonska, Finska, Francie, Irska, Islandu, Itálie, Kypru, Litvy, Lotyšska, Lucemburska, Maďarska, Malty, Německa, Nizozemska, Norska, Polska, Portugalska, Rakouska, Rumunska, Řecka, Slovenska, Slovinska, Spojeného království, Španělska, Švédska a Švýcarska.

### Předmluva

Text dokumentu 4/242A/FDIS, budoucího 1. vydání IEC 62097, vypracovaný v technické komisi IEC/TC 4 Vodní turbíny byl předložen IEC-CENELEC k paralelnímu hlasování a byl schválen CENELEC jako EN 62097 dne 2009-03-01.

Mezinárodní norma obsahuje připojené soubory tvořené souborem Excel. U těchto souborů se předpokládá užití jako doplňku a tvoří integrovanou část této publikace.

Byla stanovena tato data:

- nejzazší datum zavedení EN na národní úrovni vydáním identické národní normy nebo vydáním oznámení o schválení EN k přímému používání jako normy národní
- nejzazší datum zrušení národních norem, které jsou s EN v rozporu

(dop) 2009-12-01

(dow) 2012-03-01

Přílohu ZA doplnil CENELEC.

### Oznámení o schválení

Text mezinárodní normy IEC 62097:2009 byl schválen CENELEC jako evropská norma bez jakýchkoliv modifikací.

### Obsah

Strana

#### Úvod 7

#### 1 Rozsah platnosti 8

#### 2 Citované normativní dokumenty 8

#### 3 Termíny, definice, značky a jednotky 8

##### 3.1 Jednotky 8

##### 3.2 Seznam termínů 8

##### 3.2.1 Seznam indexů 8

##### 3.2.2 Termíny, definice, značky a jednotky 9

<b>4</b>	<b>Přepočtový vzorec</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>13</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Přepočitatelné ztráty</b>	<b>13</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Základní vzorce vlivu měřítka na třecí ztráty</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Účinnost měrné hydraulické energie</b>	<b>16</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Přepočtový vzorec</b>	<b>16</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Drsnost modelu a prototypu</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Přímý přepočet platný pro celou turbínu</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Vnitřní mechanická účinnost (diskové třecí ztráty)</b>	<b>20</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Přepočtový vzorec</b>	<b>20</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Drsnost modelu a prototypu</b>	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Objemová účinnost</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Standardizované hodnoty přepočitatelných ztrát a související parametry</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>21</b>
<b>5.2</b>	<b>Měrné otáčky</b>	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Parametry pro přepočet účinnosti měrné hydraulické energie</b>	<b>22</b>
<b>5.4</b>	<b>Parametry pro přepočet vnitřní mechanické účinnosti (diskové tření)</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Výpočet charakteristiky prototypu</b>	<b>24</b>
<b>6.1</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>24</b>
<b>6.2</b>	<b>Hydraulická účinnost</b>	<b>24</b>
<b>6.3</b>	<b>Měrná hydraulická energie</b>	<b>24</b>
<b>6.4</b>	<b>Průtok</b>	<b>25</b>
<b>6.5</b>	<b>Krouticí moment</b>	<b>25</b>
<b>6.6</b>	<b>Výkon/příkon</b>	<b>25</b>
<b>6.7</b>	<b>Požadovaná vstupní data</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Postup výpočtu</b>	<b>27</b>
	<b>Příloha A (informativní) Základní vzorce a jejich aproximace</b>	<b>29</b>
	<b>Příloha B (informativní) Vliv měřítka na ztráty měrné hydraulické energie u radiálních strojů</b>	<b>37</b>

**Příloha C** (informativní) Vliv měřítka na ztráty měrné hydraulické energie u axiálních strojů [10] 54

**Příloha D** (informativní) Vliv měřítka na diskovou třecí ztrátu 60

**Příloha E** (informativní) Vyhodnocení objemové ztráty pro nehomologické labyrinty 65

Bibliografie 70

**Příloha ZA** (normativní) Normativní odkazy na mezinárodní publikace a na jim příslušející evropské publikace 71

Strana

Obrázek 1 – Základní koncepce přepočtu uvažující vliv drsnosti 14

Obrázek 2 – Kritéria IEC pro drsnost povrchu dané v tabulce 1 a 2 18

Obrázek 3 – Francisovy oběžné lopatky a přechodové radiusy 19

Obrázek 4 – Oběžná lopatka axiálních strojů 19

Obrázek 5 – Rozváděcí lopatky 20

Obrázek 6 – Postup výpočtu hodnot jednotlivých přírůstků 28

Obrázek A.1 – Diagram pro turbínu 29

Obrázek A.2 – Diagram pro čerpadlo 30

Obrázek B.1 – Ztrátový koeficient versus Reynoldsovo číslo a drsnost povrchu 37

Obrázek B.2 – Různé charakteristiky  $f$  v přechodové oblasti 38

Obrázek B.3 – Typické rozměry průtočných částí 40

Obrázek B.4 – Relativní přepočitatelná ztráta hydraulické energie v každé průtočné části Francisovy turbíny 45

Obrázek B.5 – Relativní přepočitatelná ztráta hydraulické energie v každé průtočné části čerpadlové turbíny v turbínovém chodu 46

Obrázek B.6 – Relativní přepočitatelná ztráta hydraulické energie v každé průtočné části čerpadlové turbíny v čerpadlovém chodu 47


Obrázek B.7 –  $k_{uCO}$  a  $k_{dCO}$  v každé průtočné části Francisovy turbíny 48

Obrázek B.8 –  $k_{uCO}$  a  $k_{dCO}$  v každé průtočné části čerpadlové turbíny v turbínovém chodu 49

Obrázek B.9 –  $k_{uCO}$  a  $k_{dCO}$  v každé průtočné části čerpadlové turbíny v čerpadlovém chodu 50

Obrázek B.10 –  $d_{ECOref}$  a  $d_{Eref}$  pro Francisovu turbínu 51

Obrázek B.11 –  $d_{ECOref}$  a  $d_{Eref}$  pro čerpadlovou turbínu v turbínovém chodu 52

- Obrázek B.12 –  $d_{\text{Ecoref}}$  a  $d_{\text{Eref}}$  pro čerpadlovou turbínu v čerpadlovém chodu 53
- Obrázek C.1 –  $d_{\text{Eref}}$  pro Kaplanovy turbíny 56
- Obrázek D.1 – Poměr diskové třecí ztráty  $d_{\text{Tref}}$  62
- Obrázek D.2 – Rozměrový faktor  $k_T$  63
- Obrázek D.3 – Index diskové třecí ztráty  $d_{\text{Tref}}$  64
- Obrázek E.1 – Příklady typických návrhů labyrintů (na náboji) 66
- Obrázek E.2 – Příklady typických návrhů labyrintů (na věnci) 67
- Tabulka 1– Maximální doporučená drsnost oběžného kola nových turbín (mm) 18
- Tabulka 2 – Maximální doporučená drsnost rozváděcích lopatek nových turbín (mm) 19
- Tabulka 3 – Přípustné odchylky geometrie modelových spár od prototypu 21
- Tabulka 4 – Index přepočitatelné ztráty  $d_{\text{Ecoref}}$  a faktor rychlosti proudění  $k_{\text{uco}}$  pro Francisovy turbíny 22
- Tabulka 5 – Index přepočitatelné ztráty  $d_{\text{Ecoref}}$  a faktor rychlosti proudění  $k_{\text{uco}}$  pro čerpadlové turbíny v turbínovém chodu 22
- Tabulka 6 – Index přepočitatelné ztráty  $d_{\text{Ecoref}}$  a faktor rychlosti proudění  $k_{\text{uco}}$  pro čerpadlové turbíny v čerpadlovém chodu 23
- Tabulka 7 – Index přepočitatelné ztráty  $d_{\text{Ecoref}}$  a faktor rychlosti proudění  $k_{\text{uco}}$  pro axiální turbíny 23
- Tabulka 8 – Požadovaná vstupní data pro výpočet charakteristik prototypu 26
- Tabulka B.1 –  $d_{\text{Eref}}$  a  $k_{\text{u0}}$  pro přepočet celé turbíny 42
- Tabulka B.2 – Kritéria drsnosti povrchu při použití přímého přepočtu 43
- Tabulka C.1 – Poměr  pro Francisovy turbíny a čerpadlové turbíny 57
- Tabulka C.2 – Parametry pro stanovení  $D_{\text{ECO}}$  pro axiální stroje 58

## Úvod

### 0.1 Všeobecné poznámky

Tato mezinárodní norma stanovuje výpočet účinnosti prototypu hydraulického stroje z výsledků modelových zkoušek s uvažováním vlivu měřítka včetně vlivu drsnosti povrchu.

Pokrok v technologii hydraulických strojů určených pro vodní elektrárny ukazuje na nezbytnost revize vzorce pro přírůstek účinnosti uvedeného v 3.8 IEC 60193 [1]. Nové znalosti o vlivu měřítka pochází z práce výzkumných ústavů, výrobců a příslušných pracovních skupin mezinárodních organizací IEC a IAHR [1 – 7].

Metoda výpočtu účinnosti prototypu, uvedená v této normě, je založena na experimentální práci a teoretickém výzkumu v oblasti analýzy proudění a je z praktických důvodů zjednodušena a přijata

jako úmluva [8 - 10]. Metoda prezentuje současný stav znalostí přepočtu charakteristiky z modelu na homologický prototyp s uvážením vlivu měřítka.

Homologie se neomezuje pouze na geometrickou podobnost hlavních částí hydraulického stroje, je také požadována podobnost vstupních/výstupních rychlostních trojúhelníků oběžného kola [2]. Ve srovnání s předcházející normou IEC 60193 je z těchto důvodů dáván větší důraz na geometrii rozváděcích lopatek.

Podle současného stavu znalostí je jisté, že v mnoha případech přepočtový vzorec na účinnost s uvážením vlivu měřítka v předcházející normě IEC 60193 a dřívějších normách dává větší přírůstek účinnosti pro prototyp. Proto v případech, kde uživatel chce provést novou studii projektu, ve kterém již byl stanoven přírůstek účinnosti podle předcházejících metod, musí být v této studii přepočítán přírůstek účinnosti postupem uvedeným v této normě.

Tato norma má být hlavně využívána pro vyhodnocení výsledků smluvních modelových zkoušek hydraulických strojů. Bude-li použita pro jiné účely, jako je vyhodnocení renovace strojů s velmi drsným povrchem, je třeba tomu věnovat zvláštní pozornost, jak je popsáno v příloze B.

Norma neuvádí přepočtový vzorec pro Deriazovy turbíny a akumulární čerpadla vzhledem k nedostatku vhodných znalostí z oblasti rozdělení ztrát v těchto strojích.

Pro usnadnění výpočtu hodnoty přírůstku účinnosti se použije program Excel, na konci této normy, týkající se postupu přepočtu charakteristik hydraulických strojů z modelu na prototyp.

## 0.2 Základní vlastnosti

Základní rozdíl mezi novým a současným vzorcem normy IEC 60193 je standardizace přepočitatelných ztrát. V předcházející normě (viz 3.8 IEC 60193:1999 [1]) součinitel rozdělení ztrát  $V$  má tu nevýhodu, že hydraulické stroje, u kterých hydraulický návrh není optimalizován, získávaly ze své nižší technické úrovně.

Zajisté není korektní, když u hydraulického návrhu s nižší účinností jsou vyšší nepřepočitatelné ztráty, jako vstupní ztráty, i přesto, že velikost přepočitatelných ztrát je téměř konstantní pro všechny výrobce pro daný typ a dané měrné otáčky hydraulického stroje.

Nový návrh normy je navržen tak, aby vyloučil všechny nedůslednosti stávající normy IEC 60193:1999 (viz 3.8 z [1]). Novým rysem navržené nové normy je oddělené uvažování ztrát měrné hydraulické energie, diskových třecích ztrát a objemových ztrát [5], [8 - 10].

Všechno výše uvedené o vlivu měřítka na hydraulické charakteristiky v této normě není pouze v závislosti třecích ztrát na Reynoldsově čísle  $Re$ , ale také na vlivu realizované drsnosti povrchu  $Ra$ .

Protože drsnost jednotlivých skutečných částí strojů se od sebe liší, přírůstek účinnosti se vyhodnocuje odděleně pro každou jednotlivou část, a posléze se sečtou jednotlivé vlivy pro obdržení celkového přírůstku účinnosti kompletní turbíny [10]. U radiálních strojů se provádí vyhodnocování vlivu měřítka pro pět různých částí: spirála, výztužné lopatky, rozváděcí lopatky, oběžné kolo a savka. U axiálních strojů, kde ještě nejsou zcela vyjasněny přepočitatelné ztráty v jednotlivých částech, se provádí vyhodnocování ve dvou částech: oběžné lopatky a všechny ostatní zahrnované stacionární části.

Výpočtové postupy podle této normy jsou shrnuty v kapitole 7 a program v Excelu je uveden v příloze této normy pro usnadnění výpočtu přepočtu z modelu na prototyp.

V případě, že program Excel se použije pro vyhodnocení výsledků smluvních modelových zkoušek, každá zainteresovaná strana musí provést výpočet jednotlivě pro křížovou kontrolu použitím předem odsouhlasených společných vstupních dat.

## 1 Rozsah platnosti

Tato mezinárodní norma se používá k vyhodnocení účinnosti a provozních charakteristik prototypu hydraulického stroje z výsledků modelových zkoušek při uvážení vlivu měřítka, včetně vlivu drsnosti povrchu.

Tato norma je určena k použití při vyhodnocení výsledků smluvních modelových zkoušek hydraulických strojů.

**Konec náhledu - text dále pokračuje v placené verzi ČSN.**