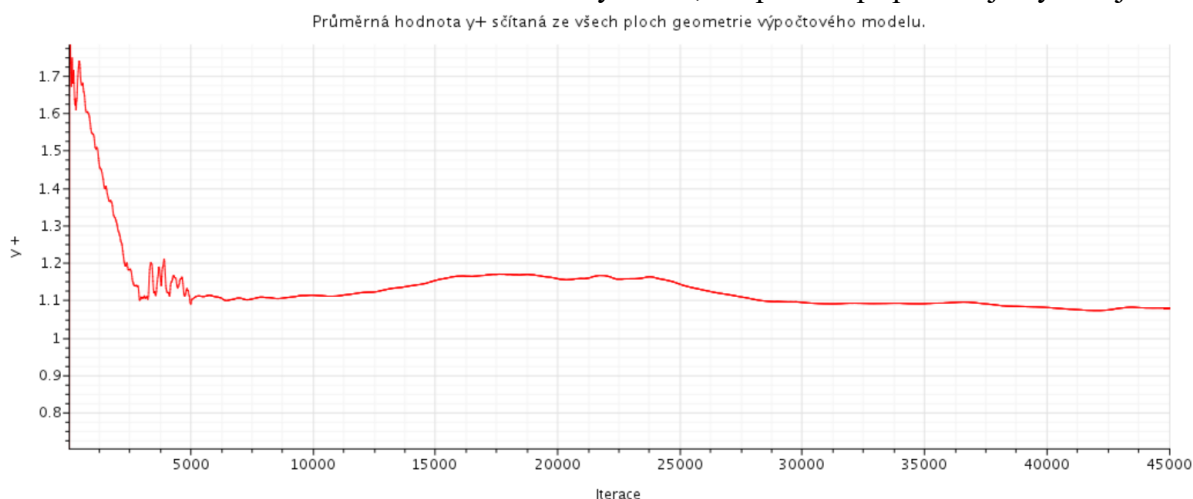


### K-Epsilon Low Re. SKELR.

Model Standard K-Epsilon s nízkým Reynoldsovým číslem kombinuje model Standard K-Epsilon s nárokem na nízké Reynoldsové čísla.

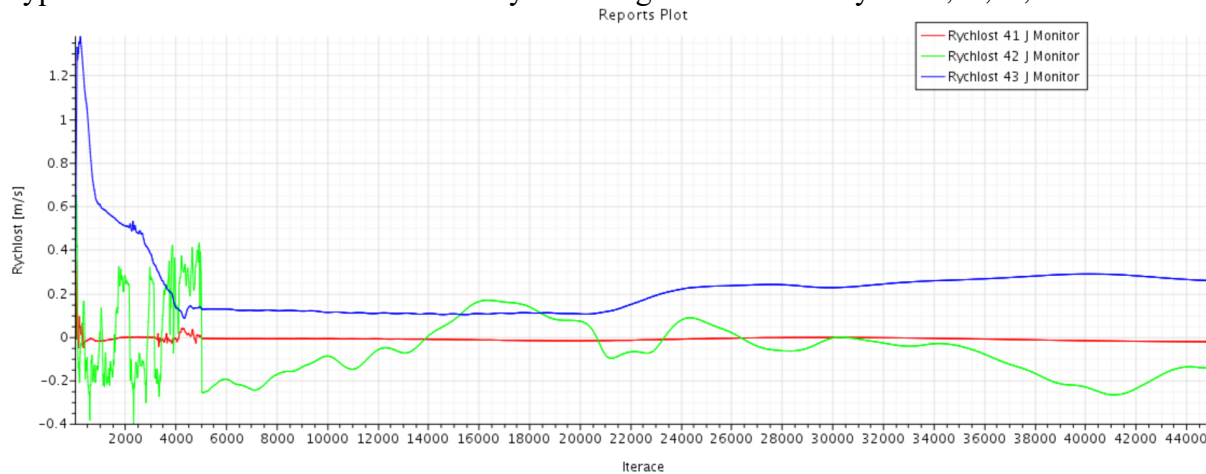
Tyto funkce umožňují jeho použití ve viskózně postižených oblastech u zdí. Tento model se doporučuje pro problémy s přirozenou konvekcí. Jak víme z předchozích kapitol uvažujeme proudění laminární v případě rozdílu teplot mezi ohřátým povrchem a okolím 15 K. Je potřebné připomenout že v případě volné konvekce charakter proudění určuje Rayleighovo číslo, což znamená že rozsah čísla  $Re$  není tady rozhodující. V případě daného modelu je nutné nastavit tloušťku mezní vrstvy menší než 2% dimenze průřezu výpočtové domény. V oblasti blízké zdi produkce turbulentní kinetické energie a disipace kinetické energie dosáhne maxima. Daný model je vyzkoušen na základě uvedených referenci v manuálu výpočtového programu. Naším cílem je zjistit jaký má vliv gradient teploty na přesnost výpočtu. Jelikož v doporučeních nebyla uvedena hodnota tzv. „nízkého čísla  $Re$ “ můžeme konstatovat, že daný název má rozpor s podstatou výpočtového modelu. Podstata modelu nevztahuje na tok v globálním měřítku, ale na region blízko zdi, kde dominují viskózní efekty. Model s nízkým Reynoldsovým číslem je model, který správně reprodukuje omezující chování různých veličin proudění, když se vzdálenost ke zdi blíží nule. Klade velké nároky na síť, ale pro náš případ síť je vyhovující.



Obrázek 1. Hodnoty  $y^+$  pro model Standard k-E Low-Re.

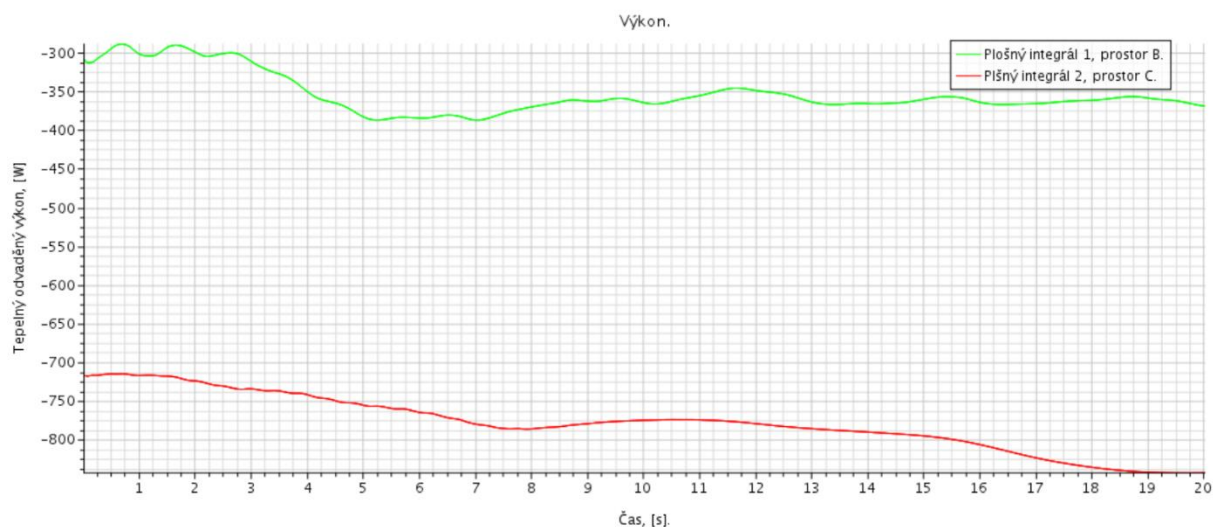
Jak vidíme z grafu na obrázku 1 v oblasti stacionárního výpočtu do 5000 iterací hodnoty  $y^+$  klesali v závislosti na rovnoměrnosti rychlostního proudu a ustálení. Hodnoty se přibližovali jedničce a následně v oblasti nestacionárního výpočtu po 5000 iteraci je vidět ustálení sledované hodnoty z mírným nárůstem od iterací číslo 11000 po 29000. Je to způsobeno tím jak se vyvíjel proud ve výpočtové doméně z časem. Uvnitř prostoru rozvaděče byly vybrány tři body, na kterých probíhalo měření rychlosti bylo to uděláno kvůli tomu abychom odhalili tu mez kdy můžeme považovat rychlostní pole za rovnoměrně rozložené. Z obrázku 2 je vidět že po dobu celého výpočtu (vč. nestacionárního) v objemu s přípojnými rychlostní pole se neustálilo, v porovnání s bodem 43J (modrá křivka) je od začátku o jednu řadu nižší. Výpočet v nestacionárním režimu ukázal že hodnota rychlosti osciluje, to znamená že proud mění svůj směr. Podrobnější prohlížení vizualizovaného výsledku ukázalo že v pohledu shora tvoří se vír kolmý na vstup do prostoru, vír je způsoben interakcí teplého a chladného vzduchu. Následně je průběh proudu uvnitř domény tvořen U-tvarem. Dalším ukazatelem ustálení výpočtu je výkon, který jsme můžeme rovnou srovnat s hodnotou poskytnutou od ABB. Výkon podle

poskytnutých údajů ze strany zadavatele je kolem 1500 W. Průběh výkonu je vidět na obrázku 3. Vidíme že hodnoty výkonu v závislosti na čase pohybují kolem 1200 W. Konvergence vypadala následovně: rovnice kontinuity zkonvergovala na hodnoty  $10^{-7}$ , X, Y, Z momentová



rovnice zkonvergovali na hodnoty  $10^{-7}$ , zbylé hodnoty nezkonvergovali. Důvodem je  
*Obrázek 2. Závislost rychlosti na iteraci. Bod 41J je nastaven v prostoru s vypínačem, 42J v prostoru s přípojnici, 43J v prostoru kabelového oddílu.*

nevhodnost modelu pro naše účely. Důležitým kritériem pro výpočet je časový krok, hodnota CFL. Časový krok byl zvolen 0,005, diskretizace byla vybraná na úrovni druhého řádu. Hodnota CFL čísla byla nastavená na hodnotu 5, ale v průběhu výpočtu byla přesáhnuta hodnota 1 jenom v blízkosti některých povrchu. Což znamená že hodnota CFL byla nastavena správně, ale síť byla takové kvality že hodnota byla dosáhnuta jenom v některých místech sítě.

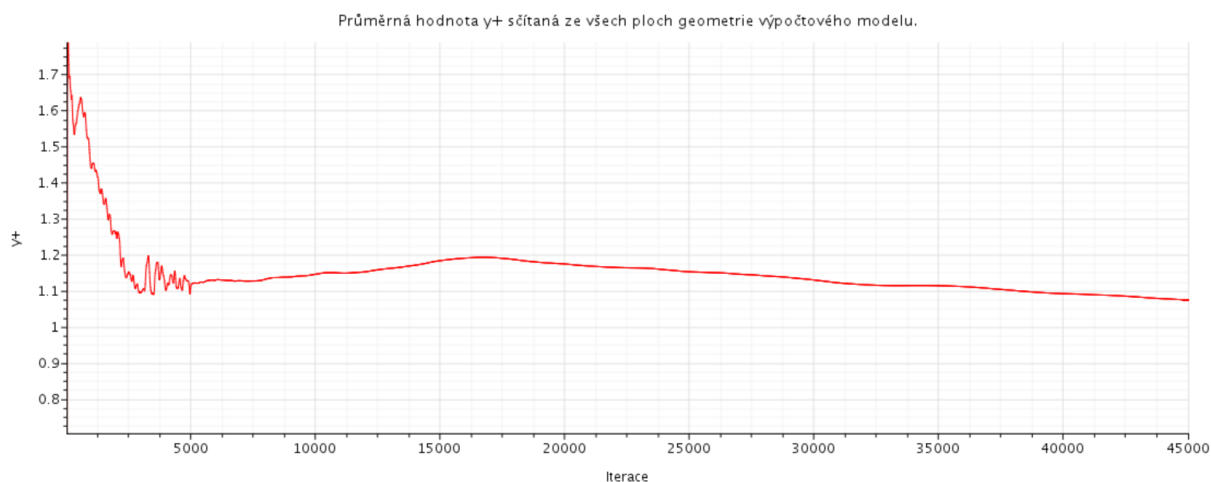


*Obrázek 3. Tepelný odváděný výkon v závislosti na čase.*

(pro lepší představivost je možnost se podívat na 3D scénu „Courant“). Přičemž hodnota CFL 5 byla překročena jenom v jedné jediné buňce, a to v místě napájení silového kabelu.

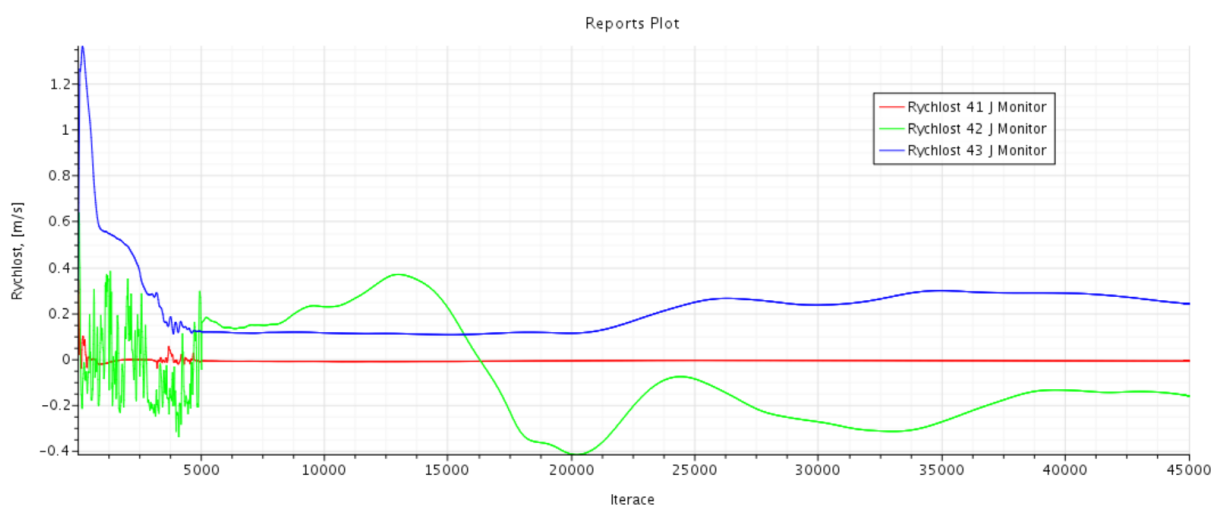
### **Standrd k-Epsilon Two Layer. SKETL.**

Jak vidíme z grafu na obrázku 4 v oblasti stacionárního výpočtu do 5000 iterací hodnoty  $y+$  klesali v závislosti na rovnoměrnosti rychlostního proudu a ustálení. Hodnoty se přibližovali jedničce a následně v oblasti nestacionárního výpočtu po 5000 iteraci je vidět ustálení

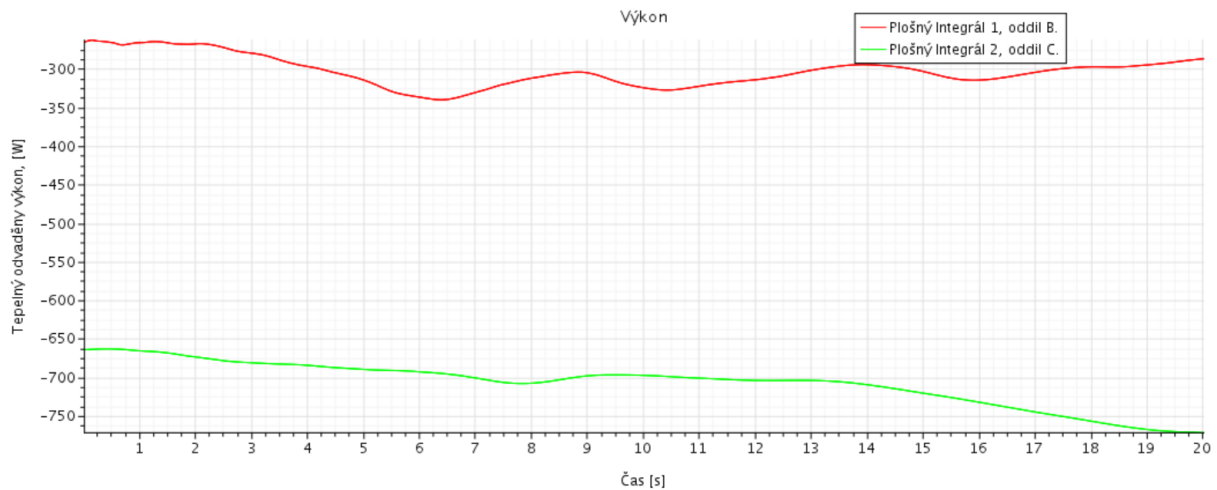


Obrázek 4. Hodnoty  $y^+$  pro model Standard k-Epsilon Two Layer

sledované hodnoty z mírným nárůstem od iterací číslo 10000 po 32000. Je to způsobeno tím, jak se vyvíjel proud ve výpočtové doméně z časem. Uvnitř prostoru rozvaděče byli vybrané tři body, na kterých probíhalo měření rychlosti bylo to uděláno kvůli tomu abychom odhalili tu mez kdy můžeme považovat rychlostní pole za rovnoměrně rozložené. Z obrázku 5 je vidět že po dobu celého výpočtu (vč. nestacionárního) v objemu s přípojnici rychlostní pole se neustálilo, v porovnání s bodem 43J (modrá křivka) je od začátku o jednu řadu nižší. Výpočet v nestacionárním režimu ukázal že hodnota rychlosti osciluje, to znamená že proud mění svůj směr. Podrobnější prohlížení vizualizovaného výsledku ukázalo že průběh proudu uvnitř domény tvořen dvěma virami U-tvarů kolmými na osu Z. Následně transformované na jeden vir kolmý na osu X a druhý na osu Z vedle největší přípojnice. Dalším ukazatelem ustálení výpočtu je výkon, který jsme můžeme rovnou srovnat s hodnotou poskytnutou od ABB. Průběh výkonu je vidět na obrázku 6. Vidíme že hodnoty výkonu v závislosti na čase pohybují kolem 1000 W. Konvergence vypadala následovně: rovnice kontinuity zkonvergovala na hodnoty  $10^{-7}$ , X, Y, Z momentová rovnice zkonvergovali na hodnoty  $10^{-7}$ , energetická rovnice zkonvergovala na hodnotu  $10^{-3}$ , zbylé hodnoty nezkonvergovali. Důvodem je nevhodnost modelu pro naše účely. Důležitým kritériem pro výpočet je časový krok, hodnota CFL. Časový krok byl zvolen 0,005, diskretizace byla vybraná na úrovni druhého řádu. Hodnota CFL čísla byla nastavená na hodnotu 5, ale v průběhu výpočtu byla přesáhnuta hodnota 1 jenom



Obrázek 5. Závislost rychlosti na iteraci. Bod 41J je nastaven v prostoru s vypínačem, 42J v prostoru s přípojnici, 43J v prostoru kabelového oddílu.

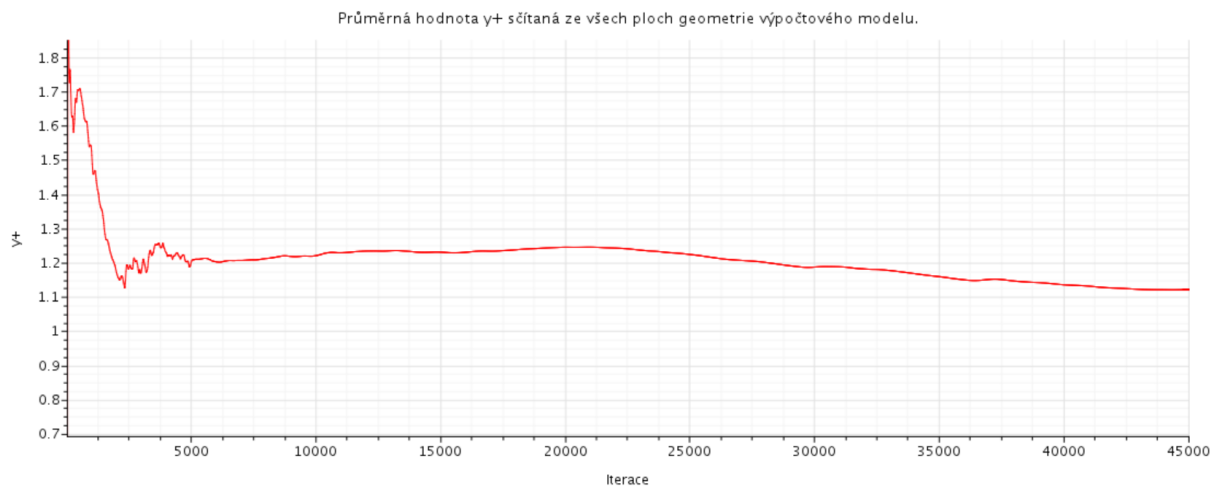


Obrázek 6. Tepelný odváděný výkon v závislosti na čase.

v blízkosti některých povrchu. Což znamená že hodnota CFL byla nastavena správně, ale síť byla takové kvality že hodnota byla dosáhnuta jenom v některých místech sítě. (pro lepší představivost je možnost se podívat na 3D scénu „Courant“). Přičemž hodnota CFL 5 byla překročena jenom ve dvou buňkách, a to v oddílu B.

#### Realizable k-Epsilon Two-Layer s nastavením konstantní hustoty. RKETL\_B.

Realizovatelný model k-Epsilon se od standardního modelu k-Epsilon liší dvěma definicemi. Za prvé obsahuje novou formulaci pro turbulentní viskozitu. Za druhé novou transportní rovnici pro disipace, která je odvozena z přesné rovnice pro transport ze střední fluktuace vířivosti. Jak vidíme z grafu na obrázku 7 hodnoty  $y^+$  kolísali kolem 1,12 až 1,2. Je to způsobeno tím, jak se vyvíjel proud ve výpočtové doméně z časem. Uvnitř prostoru



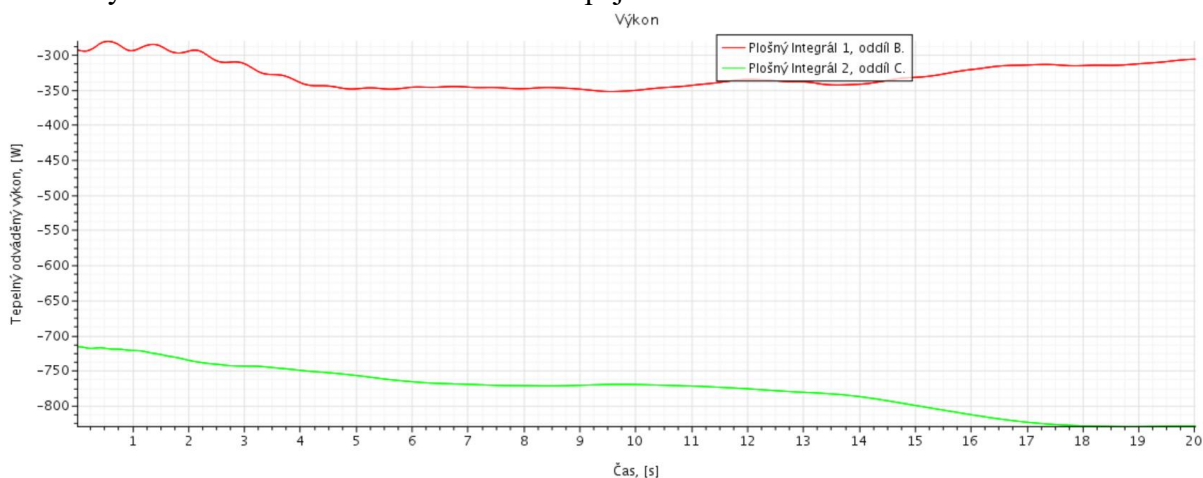
Obrázek 7. Hodnoty  $y^+$  pro model Realizable k-Epsilon s nastavením konstantní hustoty.

rozvaděče byli vybrané tři body, na kterých probíhalo měření rychlosti bylo to uděláno kvůli tomu abychom odhalili tu mez kdy můžeme považovat rychlostní pole za rovnoměrně rozložené. Z obrázku 8 je vidět že po dobu celého výpočtu (vč. nestacionárního) v objemu s přípojnici rychlostní pole se neustálilo, v porovnání s bodem 43J (modrá křivka) je od začátku o jednu řadu nižší. Přičemž v případě oddílu C rychlost se ustálila již při stacionárním výpočtu a zachovávala stabilitu od iterací 4000, tisíc iterací po tom byla stabilní. Je to velmi



Obrázek 8. Závislost rychlosti na iteraci. Bod 41J je nastaven v prostoru s vypínačem, 42J v prostoru s přípojnici, 43J v prostoru kabelového oddílu.

důležitý ukazatel. Výpočet v nestacionárním režimu ukázal že hodnota rychlosti osciluje, to znamená že proud mění svůj směr. Podrobnější prohlížení vizualizovaného výsledku ukázalo že průběh proudu uvnitř domény tvořen dvěma virami U-tvarů kolmými na osu Z. Následně transformované na jeden vir kolmý na osu Z s středem vedle největší přípojnice. Dalším ukazatelem ustálení výpočtu je výkon, který jsme můžeme rovnou srovnat s hodnotou poskytnutou od ABB. Průběh výkonu je vidět na obrázku 9. Vidíme že hodnoty výkonu v závislosti na čase pohybují kolem 1100 W. Konvergence vypadala následovně: rovnice kontinuity zkonvergovala na hodnoty  $10^{-7}$ , X, Y, Z momentová rovnice zkonvergovali na hodnoty  $10^{-7}$ , energetická rovnice zkonvergovala na hodnotu  $10^{-3}$ , zbylé hodnoty nezkonvergovali. Důvodem je nevhodnost použití bousinesq aproximace hustoty, gradient teploty je příliš velký. Právě rozdíl teplot nedovoluje v našem případě použít dané zjednodušení. Důležitým kritériem pro výpočet je časový krok, hodnota CFL. Časový krok byl zvolen 0,005, diskretizace byla vybraná na úrovni druhého řádu. Hodnota CFL čísla byla nastavená na hodnotu 5, ale v průběhu výpočtu byla přesáhnuta hodnota 1 jenom v blízkosti některých povrchu. Což znamená že hodnota CFL byla nastavena správně, ale síť byla takové kvality že hodnota byla dosáhnuta jenom v některých místech sítě. (pro lepší představivost je možnost se podívat na 3D scénu „Courant“). Přičemž hodnota CFL 5 byla překročena jenom ve mnohých buňkách. Jedna buňka v místě napájení silového kabelu a ostatní na zemnění.



Obrázek 9. Tepelný odváděný výkon v závislosti na čase.