

Energetická studie využití komplexu budov F, B+C+D a G Technické univerzity v Liberci pro instalaci FV panelů

Technická univerzita v Liberci

Studie využitelnosti budov TUL pro instalaci FV systémů

Ing. Milan Bělík, Ph.D.

Vedoucí oddělení simulací OZE, Česká fotovoltaická asociace

Vedoucí oddělení environmentálních technologií, Západočeská univerzita v Plzni

1. Předmět energetické studie

Předmětem této energetické studie je zhodnocení využitelnosti vybraných objektů TUL pro instalaci FV systémů, respektive posouzení možností snížení energetické závislosti a náročnosti těchto objektů. Jmenovitě se jedná o komplex budov F, komplex B+C+D, komplex G a budovu rektorátu.

2. Zadavatel energetické studie

Ing. Vladimír Stach, kvestor TUL
Technická univerzita v Liberci
Studentská 1402/2, 461 17 Liberec
IČO: 46747885
DIČ: CZ46747885

3. Zpracovatel energetické studie

Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Dolní Poříčí 40, 386 01 Strakonice
IČO: 72235420
Vedoucí oddělení simulací OZE, Česká fotovoltaická asociace
Vedoucí oddělení environmentálních technologií, Západočeská univerzita v Plzni

4. Podklady pro vypracování energetické studie

- Potenciál umístění FVE na budovách TUL Liberec (vypracoval Ing. Jan Kačmár, ČEZ ESCO, 12/2020)
- Výkresová dokumentace Projektu opravy střechy menzy (vypracoval Ing. arch. Vladimír Balda, 03/2023)
- Výkresová dokumentace Opravy budovy F1 (vypracoval Ing. Michal Bartoš, 05/2022)
- Výkresová dokumentace Dostavby budovy F2 (vypracoval Ing. arch. Jakub Hlaváč, 09/2022)
- Výkresová dokumentace Střechy budovy B
- Výkresová dokumentace Dostavby budovy C
- Hodinové spotřeby v jednotlivých přípojných místech TUL
- Fotodokumentace pořízená na místě zpracovatelem studie (5.4.2023) - doplněno
- Satelitní mapy a streetview mapy.cz – doplněno
- Satelitní mapy a streetview maps.google.com – doplněno

5. Poznámka

Některé údaje v podkladech pro vypracování této studie se vzájemně liší nebo jsou nepřesné. Jedná se zejména o kóty ve výkresech a exaktní dispozici některých prvků na jednotlivých střechách. Tyto skutečnosti však nemají podstatný vliv na přesnost provedené simulace (nejistota výsledků se pohybuje v řádu desetin procenta).

Členitost povrchů uvažovaných objektů a struktura a proměnlivost zastínění v průběhu roku nabízí v kombinaci s komerčně dostupnými komponentami nepřeberné množství různých variant. Tuto studii tedy nelze chápat jako návrh absolutně nejlepšího řešení, ale jako modelové srovnání různých strategií instalace nebo návodu, jakým směrem postupovat při koncepci poptávky návrhu FV systémů na zvolené objekty a při hodnocení realizovatelnosti a ekonomiky případných konkrétních projektů.

Studie je rozčleněna do 3 samostatných částí zabývajících se detailně jednotlivými objekty. Celkové shrnutí výsledků a doporučení nejlepších variant je provedeno ve společném závěru.

6. Parametry simulací

Pro účely této studie byly při návrhu jednotlivých částí FV systémů voleny běžně dostupné komponenty s obvyklými parametry. Tato volba není doporučením konkrétních komponent, nýbrž reprezentativním vzorkem aktuálních používaných technologií s ohledem na cenu, kvalitu, životnost, montáž, servisovatelnost a údržbu.

Pro srovnání využitelnosti jednotlivých ploch byly použité 2 různé fotovoltaické moduly. Moderní půlčlankový monokrystalický modul 535 Wp s účinností 20,87 % a rozměry 2,261 x 1,134 m (Canadian Solar CS6W-535MS) a rozměrově klasický 335 Wp monokrystalický modul s účinností 19,9 % a rozměry 1,7 x 0,99 m (Canadian Solar CS1H-335MS). Jedná se o moduly se zcela běžnými parametry.

Vzhledem ke složitosti topologie jednotlivých FV systémů danou členitostí a proměnlivým zastíněním jednotlivých ploch se jeví jako výhodnější použití menších stringových střídačů o výkonu cca 10 – 50 kW (např. Kostal Piko o výkonu 10 – 60 kW).

Model klimatických dat je založený na databázi Meteororm 8.1, výpočet záření na nakloněné rovině vychází z modelu Hay&Davies a výpočet difuzního záření z modelu Hofmann. Albedo okolních povrchů 20 % odpovídá průměrné městské zástavbě. Do výpočtu jsou dále zahrnuty ztráty odchylkou od standardního spektra (1 %), ztráty impedančním nepřízpůsobením (2 %) a úbytkem na bypass diodách (0,5 %). Degradace modulů je modelována jako lineární (0,5 % za rok). Dodatečné ztráty znečištěním panelů nejsou vzhledem k lokalitě a stavu existujícího 20 kWp systému uvažovány. Ztráty na vodičích jsou uvažovány souhrnně 1 % (detailní výpočet závisí na konkrétní topologii a měl by být součástí konkrétního projektu). Linie horizontu je určena z dat maps.google.com a relevantní blízké stínící objektu jsou zahrnuty v příslušném 3D modelu.

Vzhledem k lokalitě Liberce (průměrná roční teplota 8,5 °C a suma globálního záření 1113 kWh/m²) byly nastaveny hodnoty teplot pro výpočet pracovního bodu FV modulů pro zkoušku napětí v MPP na 12 °C a pro Uoc na -20 °C. To pozitivně ovlivňuje konfiguraci stringů s ohledem na bezpečnost a zároveň negativně vyšší ohmických ztrát.

Výpočet ekonomiky jednotlivých variant vychází z některých zjednodušujících předpokladů. Pořizovací náklady závisí na konkrétní komerční nabídce a pro účely studie jsou uvažovány v průměrné maloobchodní ceně 30 000 Kč/kWp. Cena za odebíranou elektrickou energii závisí v případě velkoodběru na konkrétní smlouvě, ale v poslední době je to velice proměnlivá a špatně predikovatelná veličina. Pro účely simulace byla uvažovaná cena 5,71 Kč/kWh, která byla stanovena jako průměrná hodnota z tabulky spotřeb TUL za rok 2022. Obdobně obtížné je stanovení přesných hodnot výkupních cen za dodávanou energii z FVE. Pro účely simulace byla zvolena hodnota 2 Kč/kWh. Časové změny těchto hodnot nejsou uvažovány. Studie má relativně porovnat různé varianty využití jednotlivých objektů TUL, není tedy absolutně přesné stanovení jednotlivých cen kritické.

Životnost FVE (sledované období) se předpokládá 40 let (v průběhu bude pravděpodobně nutná výměna střídačů a případně baterií). Průměrná roční návratnost použitého kapitálu není pro zjednodušení uvažována. Obdobně nejsou uvažovány žádné půjčky ani dotace.

7. Komplex budov F – základní rozvaha

Komplex budov F se skládá z 2 analogických budov F1 a F3 orientovaných 13,28° na jihovýchod. Pro energetické využití se nabízí velké východní a západní plochy střech. Střechy obsahují některé prvky, které by podle vyjádření zadavatele mohli být případně překonfigurovány. Další využitelné plochy by mohli být menší čelní (jižní) trojúhelníkové střechy. Diagram výroby by v tomto případě mohl být velice vyrovnaný a příznivý pro plánované účely. Poněkud složitější může být samotná instalace modulů vzhledem k výšce budov a přístupu na střechy. Montáž může být ale realizována mobilním stavebním výtahem nebo jeřábovou instalací celých předpřipravených panelů (polí modulů).

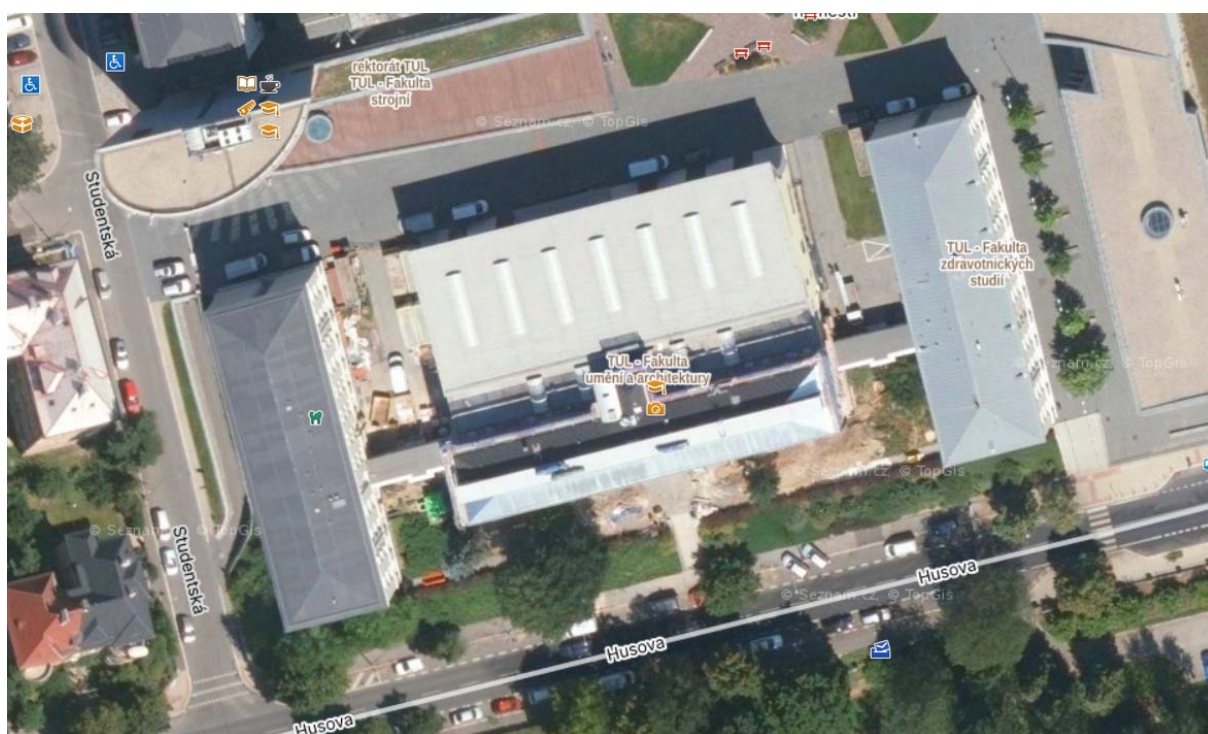
Dalším objektem v komplexu je budova F2 kolmá na obě předcházející a umístěná mezi nimi. Vzhledem k velkému objektu světlíku v oblasti hřebene střechy je využití dlouhé jižní střechy poměrně diskutabilní.

Nabízela by se ale varianta částečného zastínění světlíku FV moduly, které by mohli fungovat jako stínící prvky a v podstatě nahradit stávající žaluzie. Problém ale může být požární řešení takového systému.

Objekty F1, F2 a F3 jsou spojeny nízkými propojovacími krčky s plochými střechami. Instalace FV systému na tyto krčky by byla velice jednoduchá, střechy jsou však zcela utopeny mezi sousedními objekty a velkou část jsou stíněné.

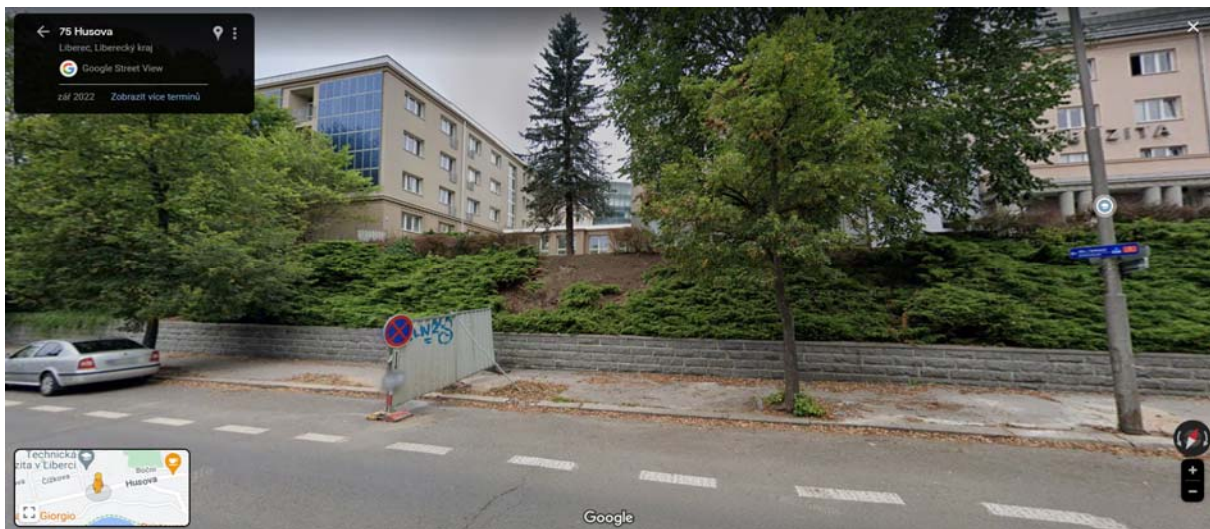
Na severní stranu objektu F2 navazuje nízká budova menzy a vyšší budova ateliéru. Oba objekty mají ploché střechy, částečně osazené světlíky. Střecha ateliéru je většinu roku (kromě zimy) dostatečně a rovnoměrně osluněna a vzhledem k plánované rekonstrukci může být snadno připravena pro využití. Zde se nabízí mnoho variant od ploché instalace rovnoběžné s plochou střechy, přes konstrukce orientované na jih po dvojité konstrukce východ-západ. První varianta (plochá konstrukce), která je znázorněna i v dokumentech „Výkresová dokumentace Projektu opravy střechy menzy“ a „Potenciál umístění FVE na budovách TUL Liberec“ není příliš vhodná. Malý sklon modulů snižuje výtěžnost v jarních a podzimních měsících, zmenšuje jejich samočistící schopnost a podporuje setrvání sněhové pokrývky. Lepší varianta je použití konstrukce s orientací na jih respektive východ-západ, případně jejich kombinaci. Pro tyto účely může být zajímavá například lehká „aero“ konstrukce, která nemusí být kotvena na střechu ani nevyžaduje dodatečnou zátěž.

Dispozice jednotlivých ploch je zřejmá ze satelitního pohledu na Obr. 1.



Obr. 1.: Satelitní snímek komplexu budov F

Ze satelitního pohledu, pohledů streetview a pořízených fotografií je zřejmé, že uvažovaný komplex není ovlivněn žádnými jinými okolními objekty, které by způsobovaly další ztráty zastíněním. Orientační srovnání reálné situace a 3D modelu je patrné z Obr. 2 a 3.

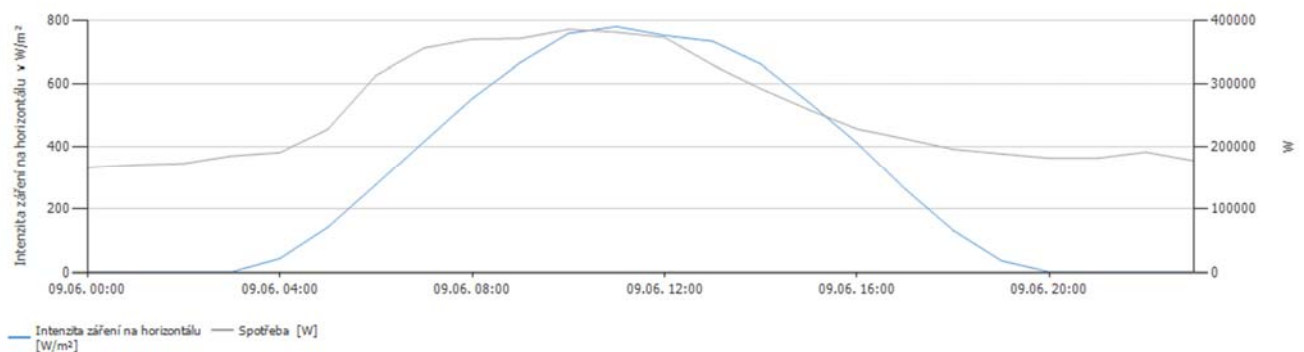


Obr. 2.: Google streetview – komplex F – zastínění okolními objekty

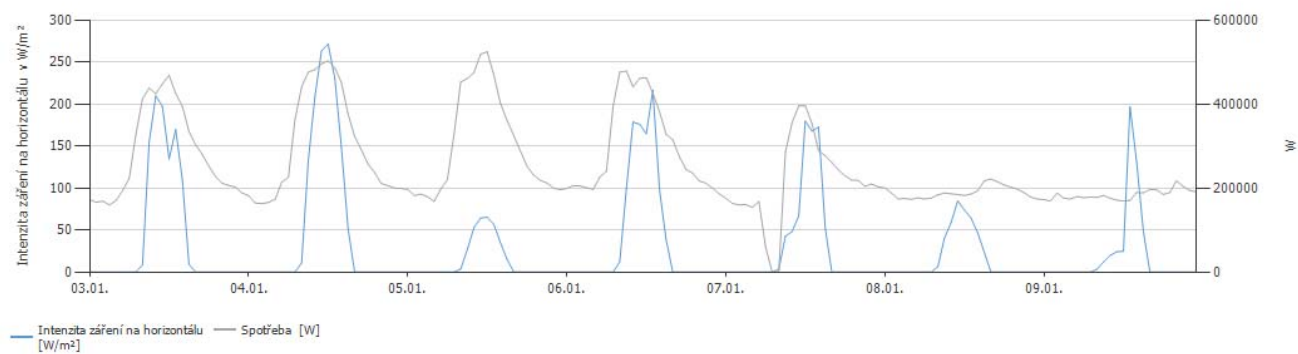


Obr. 3.: Simulace – komplex F – zastínění okolními objekty

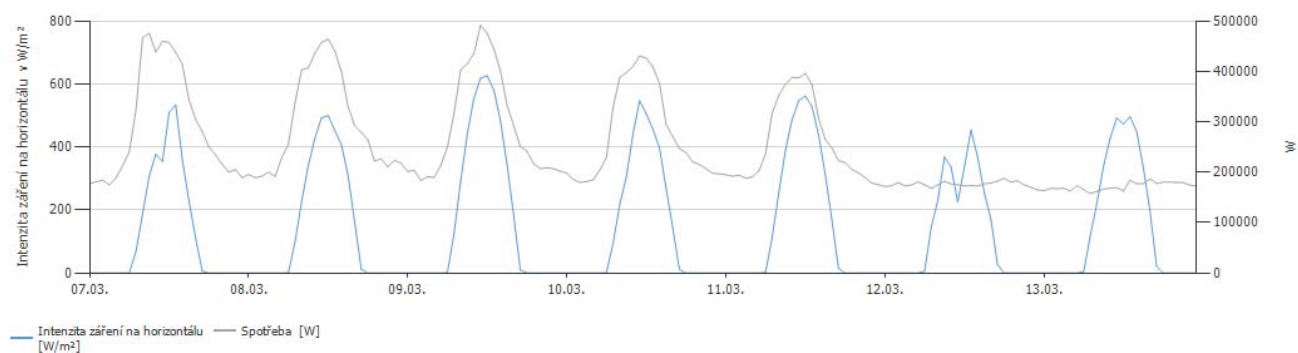
Dalším důležitým faktorem, který promlouvá do návrhu FVE je diagram vlastní spotřeby. Obr. 4 znázorňuje denní diagram zatížení a průběh intenzity záření během typického dne (9.6.) a obr. 5 – 8 ukazují typické týdenní průběhy (PO-NE) pro jednotlivá roční období. Je evidentní, že spotřeba celkem kopíruje průběh intenzity záření, ale je poněkud posunuta k ranním hodinám (východní poloha slunce). To říká, že preferovaná orientace FVE by měla být spíše jižním a východním směrem než na západ. Velikost spotřeby však tento fakt do značné míry zastírá – např. více než 200 kW odpoledne v létě a více než 160 kW přes víkend v létě (minimální spotřeba). To říká, že FVE do výkonu cca. 200 kW nebude mít prakticky žádné přetoky a výroba bude zcela využita pro vlastní spotřebu, což znamená pravděpodobně nejlepší ekonomiku.



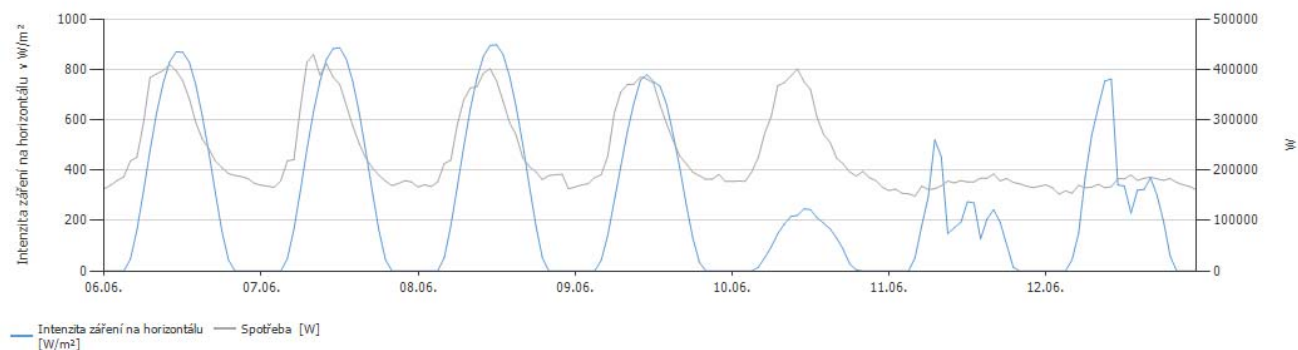
Obr. 4.: Diagram spotřeby – zimní období



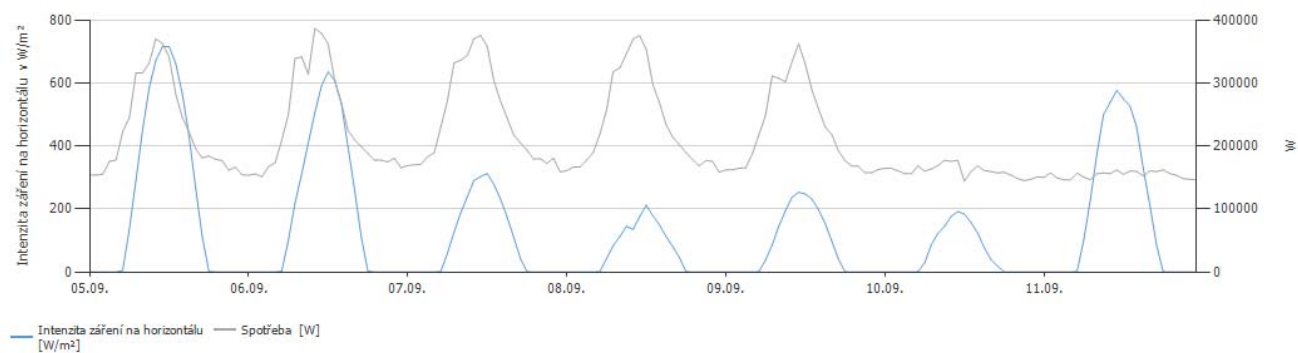
Obr. 5: Diagram spotřeby – zimní období



Obr. 6.: Diagram spotřeby – jarní období



Obr. 7.: Diagram spotřeby – letní období



Obr. 8.: Diagram spotřeby – zimní období

7.1. Analýza zastínění komplexu F

Na Obr. 9 - 11 je patrný průběh stínu v zimním období (1.1) mezi východem a západem slunce (8:10 – 15:20). Jedná se o dobu blízkou zimnímu slunovratu s nejkratší dobou slunečního svitu. Východní střechy budov F1 a F3 nejsou celé dopoledne ničím stíněny a obdobně západní střechy odpoledne. Detailní vliv různých prvků na jednotlivých střechách je popsán dále.

Jižní střecha budovy F2 a čelní strana světlíku taktéž nejsou dopoledne zastíněné, ale odpoledne se projevuje postupné stínění větvemi jednotlivých vzrostlých stromů. Střecha ateliéru je v přední části celý den zastíněná, ale zadní třetinu lze mezi 10 – 14 hodinou využít. Střecha menzy a okna nad ní jsou rovněž celý den ve stínu. V tuto roční dobu je však vlivem počasí převládající obsah difuzního záření s nízkou energetickou hustotou a celková využitelná solární energie dosahuje přibližně 3 % z ročního úhrnu. Protože uvažovaný FV systém nebude ostrovní, nemusí se tedy fakticky zastínění v tomto období uvažovat jako zásadní nevýhoda. V případě opodstatněné nutnosti výroby v tomto období doporučuji použít amorfní panely, které mají lepší spektrální citlivost pro tyto podmínky.

Obr. 12 – 17 ukazuje průběh stínu v následujících měsících ve stejnou dobu. Ze simulace je patrné zkracování stínu, prodlužování doby svitu a zvětšování nezastíněné plochy. Již od počátku března je prakticky celá střecha ateliéru během velké části dne nezastíněná. Vlivem větší výšky slunce nad horizontem se omezuje i vliv stínu stromů před jižním průčelím F2.

Jak je patrné z Obr. 18 - 20, od počátku astronomického jara se i střecha menzy dostává z vlivu zastínění a může být efektivně využita pro FV systém. Část tohoto systému může být umístěná na konstrukci před okny ateliéru nad střechou menzy, kde budou panely zároveň fungovat jako stínící prvek. Simulace však neprokázala podstatný vliv takových panelů na lepší stínění oken v jarních a letních měsících a tudíž ani na přehřívání interiéru ateliéru. Je však nutno počítat se snížením intenzity prostupujícího záření a zvážit, zda to není problematické pro práci v ateliéru.

Obr. 21 - 26 dokazují, že vliv stínů v letním období je i na střeše menzy minimální. Případný stínící vliv panelů předsazených před okny ateliéru není z hlediska tepelného komfortu jednoznačný. Podstatnější vliv by z tohoto hlediska mělo zakrytí střešních světlíků FV moduly. To by i značně zvětšilo využitelnou plochu a výkon FVE, je však nutno toto řešení konzultovat s příslušným HZS ohledně požadavků požární bezpečnosti.

Průběh stínů ve druhé polovině roku je analogický znázorněným průběhům.

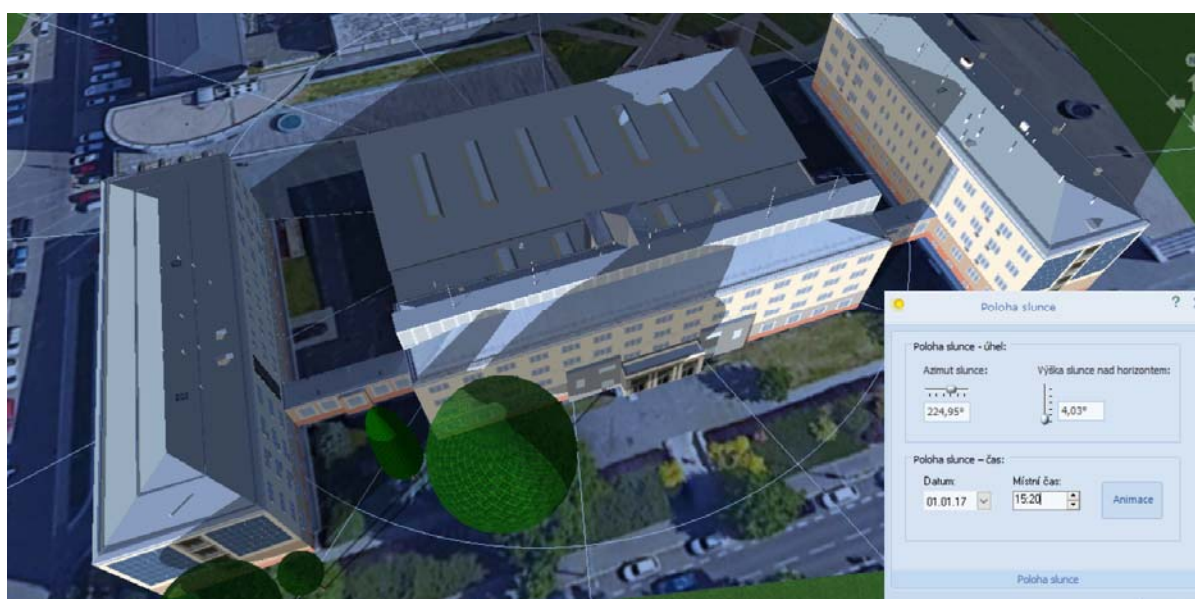
7.1.1. Průběh zastínění v zimě



Obr. 9.: Průběh zastínění v zimě po východu slunce (1.1. 9:10)



Obr. 10.: Průběh zastínění v zimě v poledne (1.1. 12:00)



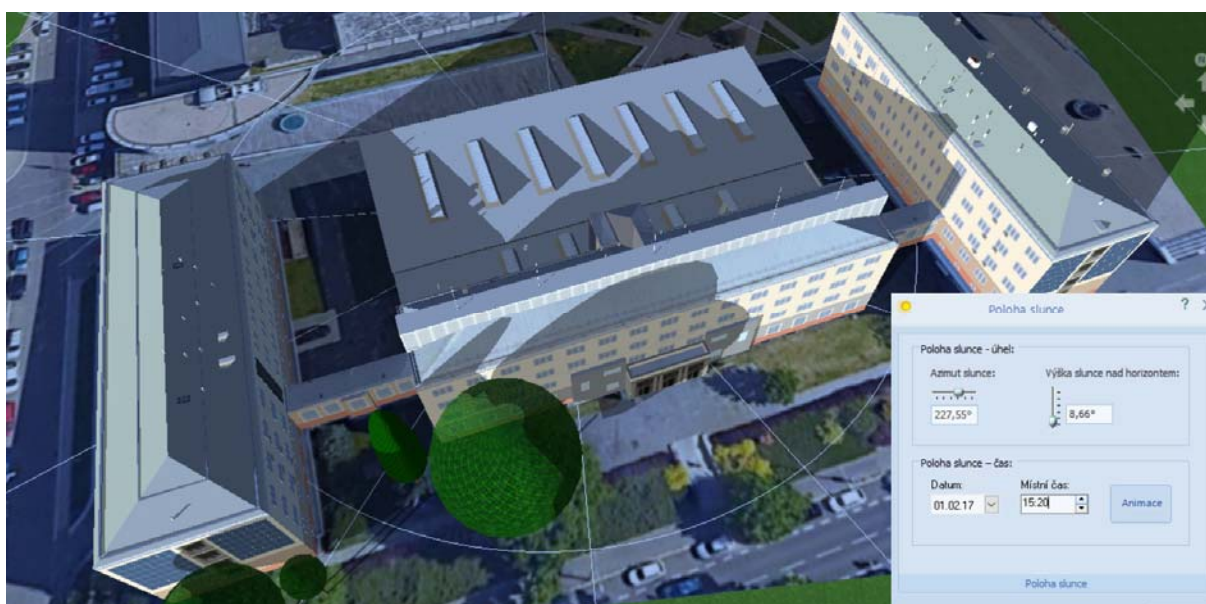
Obr. 11.: Průběh zastínění v zimě před západem slunce (1.1. 15:20)



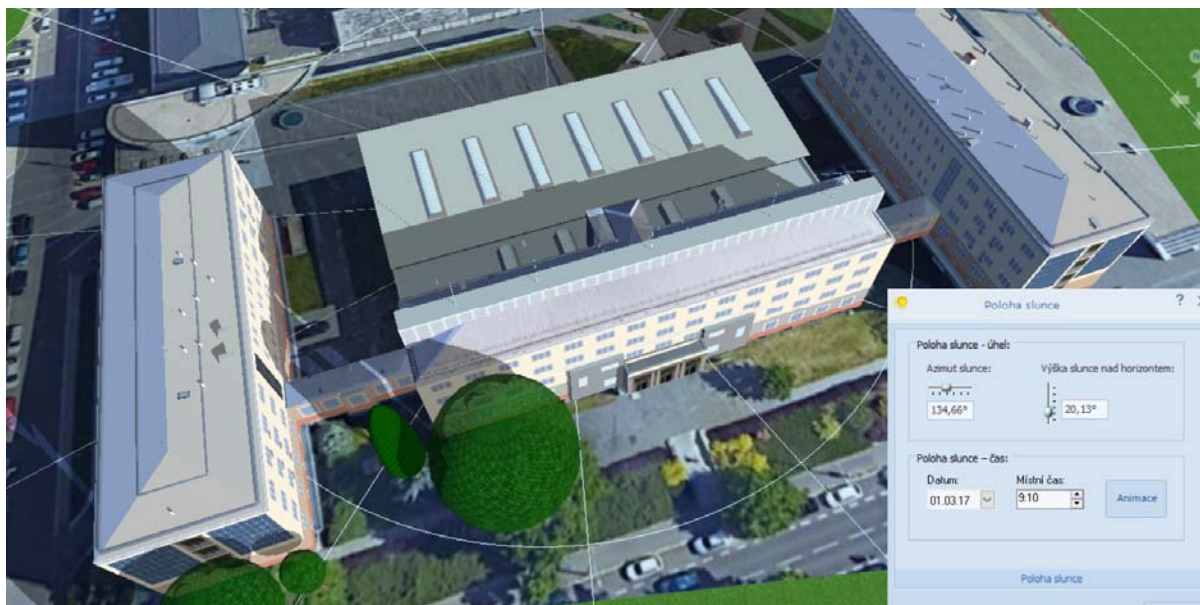
Obr. 12.: Průběh zastínění v zimě ráno (1.2. 9:10)



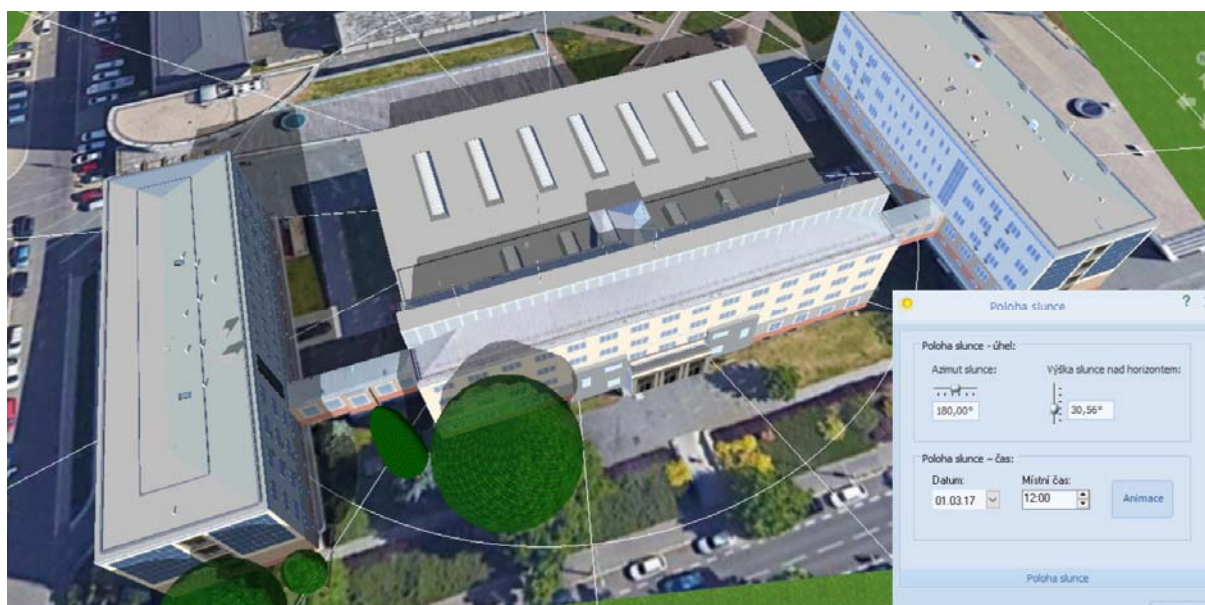
Obr. 13.: Průběh zastínění v zimě v poledne (1.2. 12:00)



Obr. 14.: Průběh zastínění v zimě odpoledne (1.2. 15:20)



Obr. 15.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.3. 9:10)

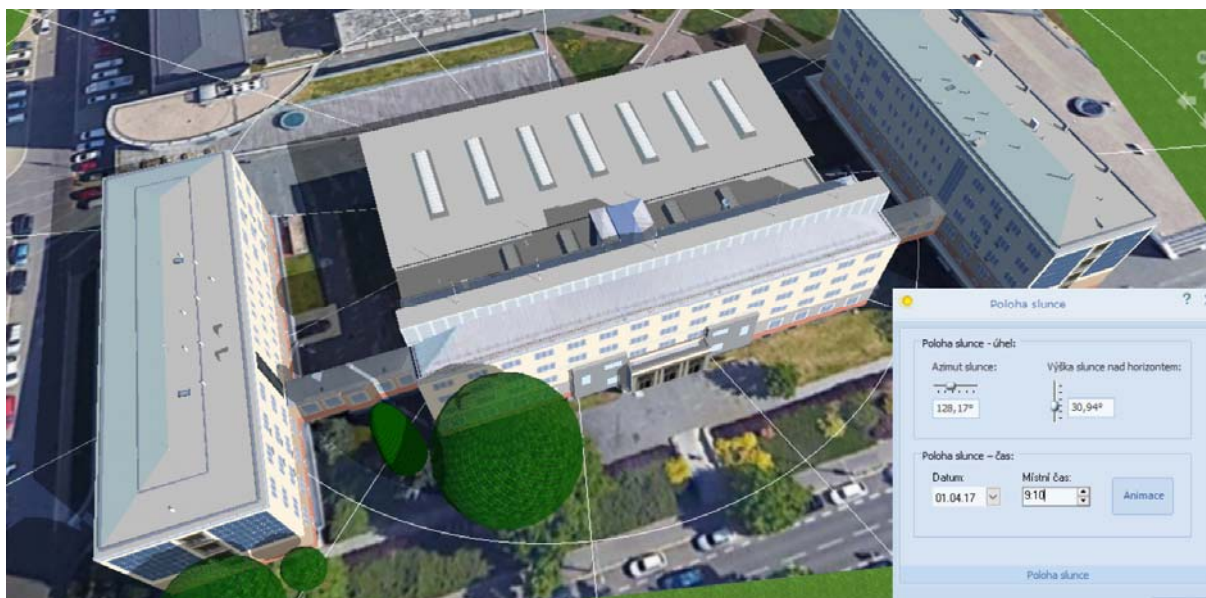


Obr. 16.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.3. 12:00)



Obr. 17.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.3. 15:20)

7.1.2. Průběh zastínění na jaře



Obr. 18.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.4. 9:10)



Obr. 19.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.4. 12:00)



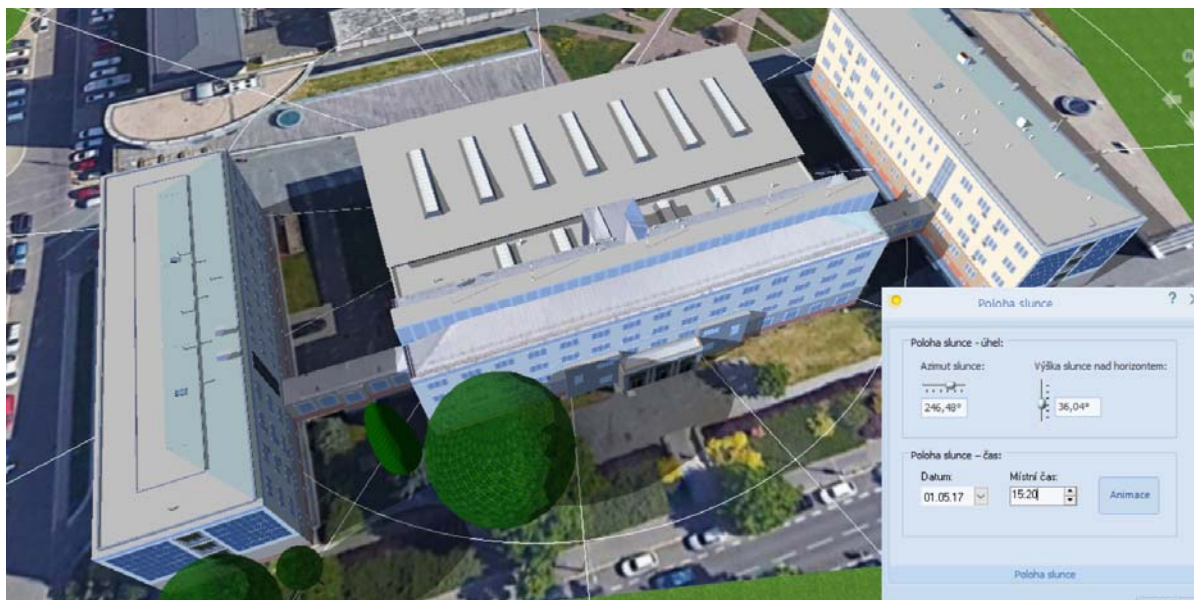
Obr. 20.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.4. 15:20)



Obr. 21.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.5. 9:10)



Obr. 22.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.5. 12:00)



Obr. 23.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.5. 15:20)

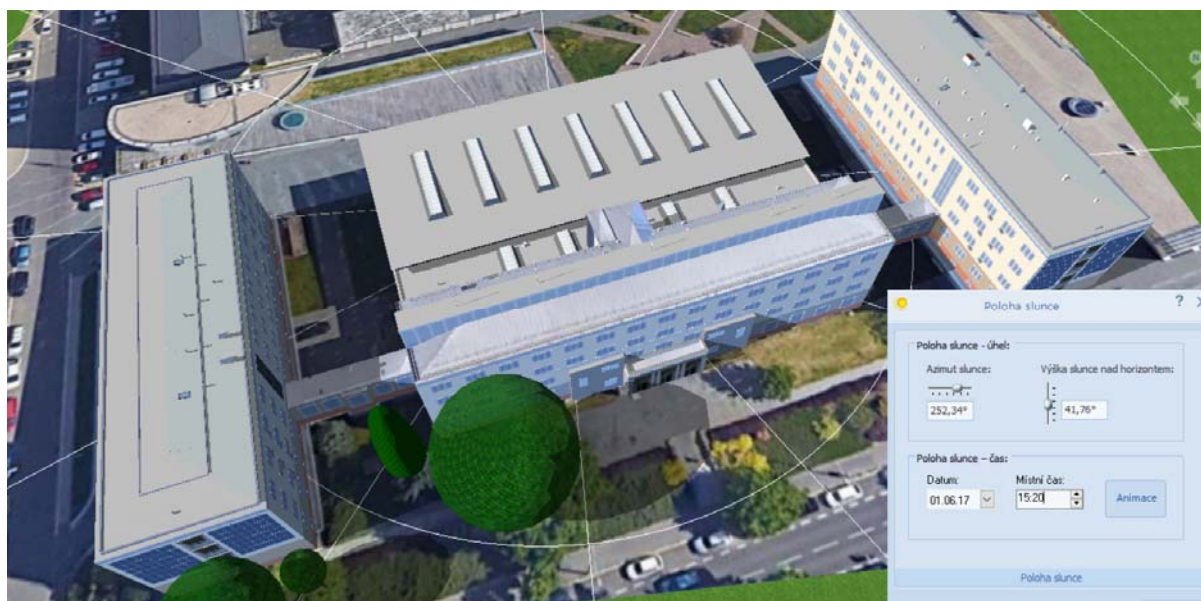
7.1.3. Průběh zastínění v létě



Obr. 24.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.6. 9:10)



Obr. 25.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.6. 12:00)

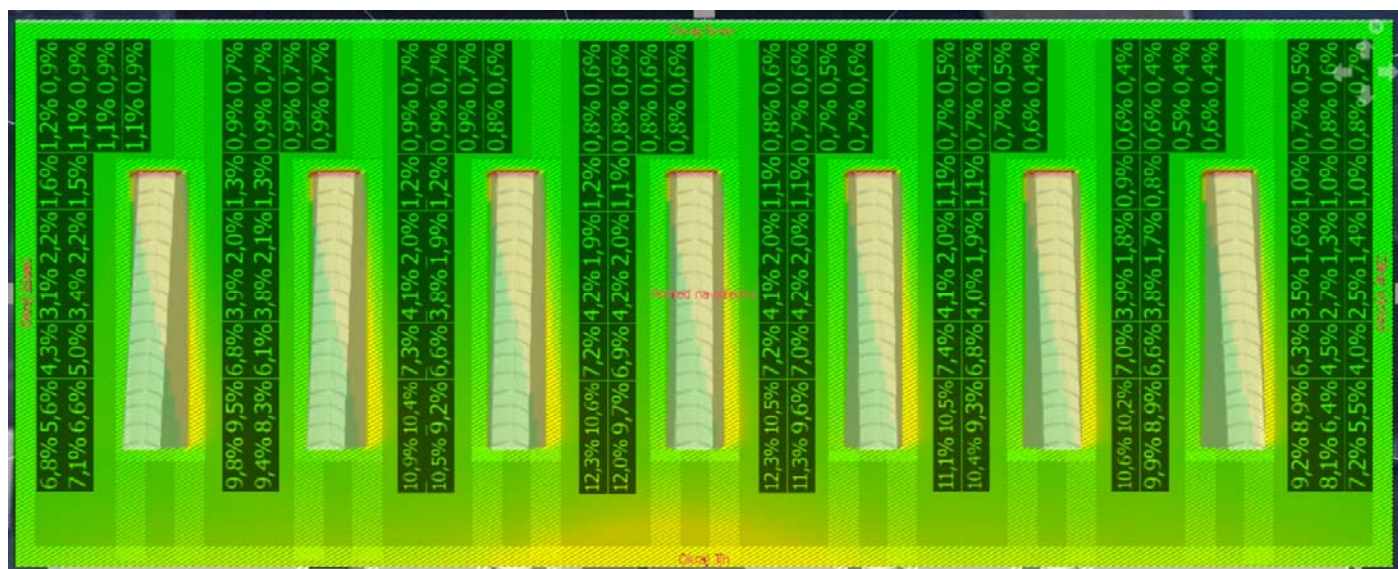


Obr. 26.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.6. 15:20)

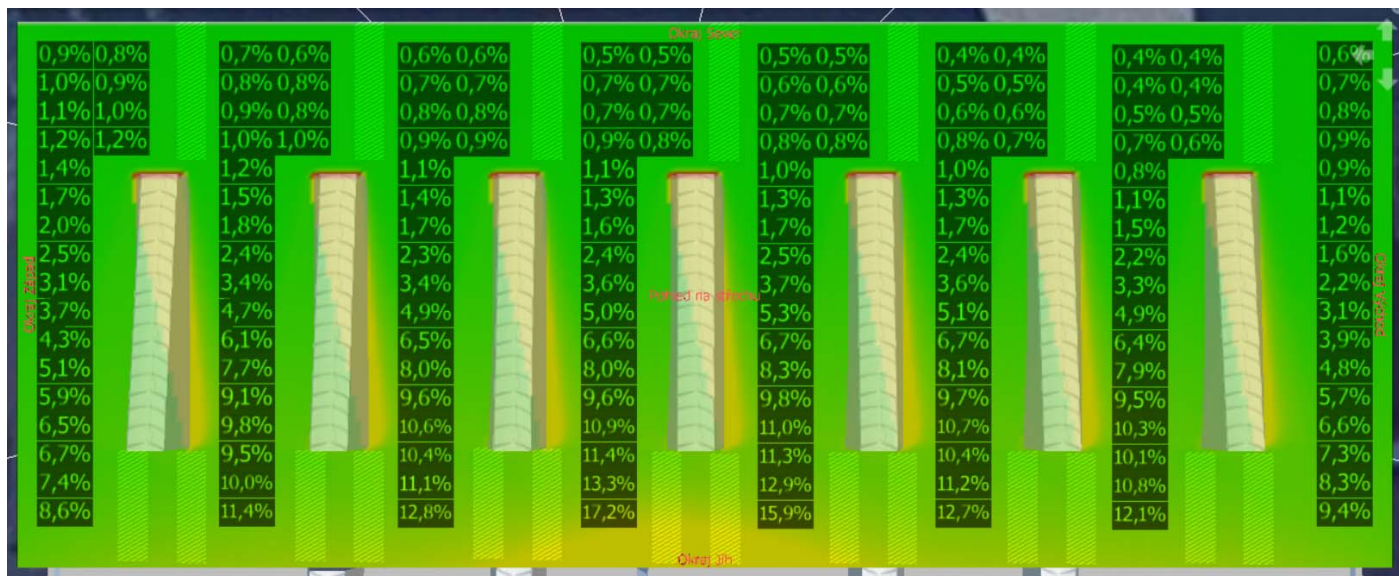
7.2. Základní rozvaha efektivního využití komplexu F

Pro energetické účely je možné efektivně využít několika variant různých ploch. Jako minimalistické řešení, které by zároveň snadno mohlo posloužit jako pilotní projekt, se nabízí využití pouze střechy ateliéru (případně v kombinaci se střechou menzy). Pro tento případ se nabízí několik různých alternativ. Další variantou je využití jedné nebo obou budov F1 a F3 s orientací modulů východ/západ. Poslední možností je využití jižní střechy budovy F2 včetně zastínění oken jižní strany světlíku.

Nejjednodušším řešením (uvažovaným i v obou předchozích studiích) je rovnoběžná montáž modulů přímo na plochu střechy ateliéru. Tato varianta však zcela určitě není nejvhodnější a poslouží spíše na demonstraci jednotlivých aspektů, které je nutno při vlastním návrhu FVE vzít v potaz. Vzhledem ke členitosti stínů, které tvoří jednak postupný stín od objektu F2 a jednak kolmé stíny od sousedících světlíků, je nutné porovnat obě orientace modulů (na výšku i na šířku). Při orientaci na výšku je za stávajícího stavu střechy a při dodržení všech bezpečnostních vzdáleností (od světlíků, hromosvodů a krajů střechy) možné instalovat 164 modulů (535 Wp) s celkovým výkonem 87,74 kWp (Obr. 27). Předpokládaná roční výroba elektrické energie je 80 531 kWh (917,42 kWh/kWp). V případě horizontální montáže (Obr. 28) je možné použít opět 164 modulů o celkovém výkonu 87,74 kWp, které ale tentokrát vyrobí pouze 80 034 kWh (911,75 kWh/kWp). Obr. 27 a 28 porovnávají rozdíl vlivu zastínění jednotlivých modulů v obou konfiguracích.



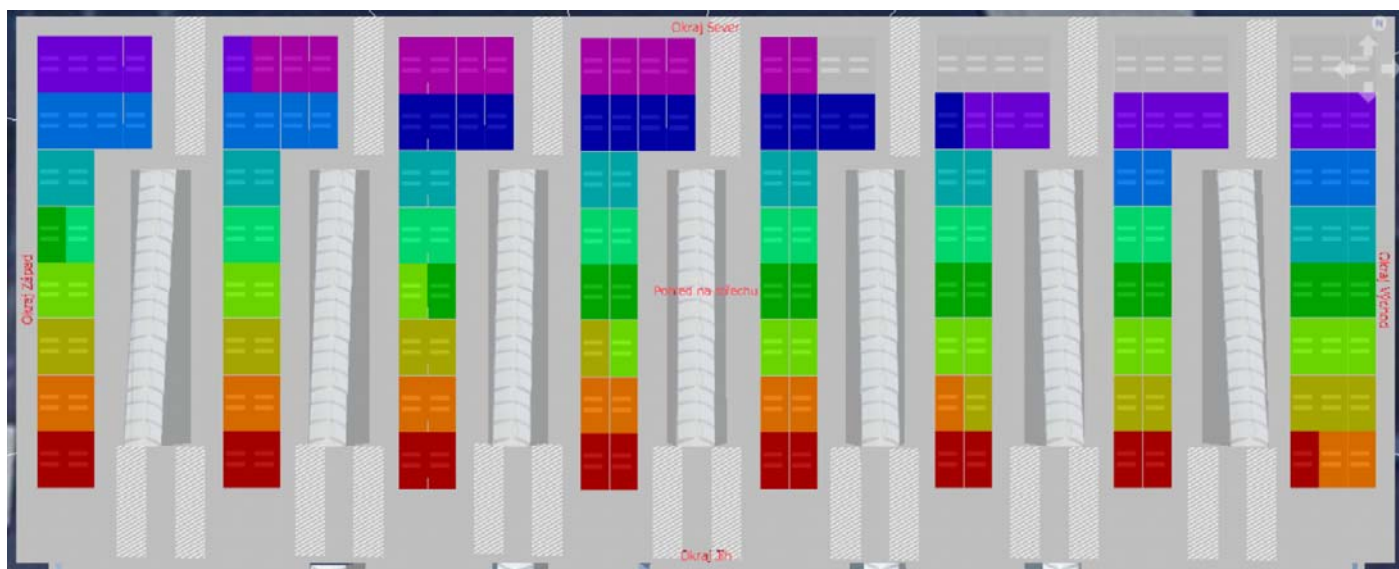
Obr. 27.: Vliv zastínění na horizontální konfiguraci (tul_f_varianta1_1)



Obr. 28.: Vliv zastínění na vertikální konfiguraci (tul_f_varianta1_2)

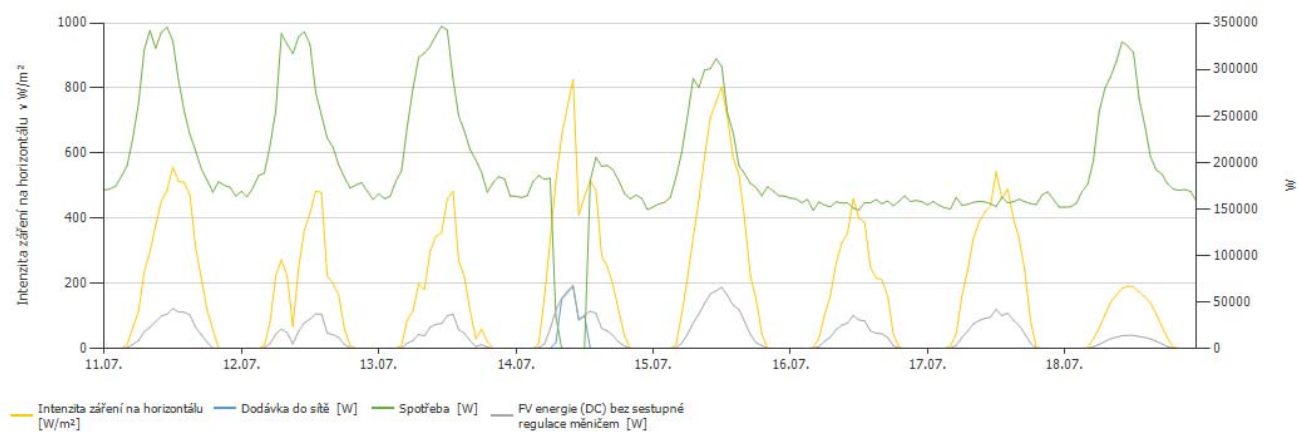
Je zřejmé, že vliv příčných a podélných stínů je v obou variantách rozdílný (497 kWh/rok), což je dáno zapojením bypass diod a stringů v použitých modulech. Tento rozdíl se pochopitelně projeví i v ekonomice projektu. První (lepší) varianta má dobu návratnosti 5,8 roku, zatímco druhá varianta 5,9 roku. Simulace jsou v souborech tul_f_varianta1_1 a tul_f_varianta1_2.

V obou případech doporučuji vzhledem ke ztrátám zastíněním stringování podél dlouhé strany střechy (nikoli podél jednotlivých FV polí mezi světlíky), jak je znázorněno na Obr. 29. Opačná orientace stringů (tul_f_varianta1_1a) by ztráty vlivem zastínění zvýšila o 668 kWh/rok a doba návratnosti by se prodloužila na 5,9 roku. Detailním stringováním panelů s totožným vlivem zastínění by se naopak mohla výtěžnost poněkud zvýšit, ale na úkor složitosti topologie, prodloužení kabelových vedení a zvýšení ohmických ztrát.



Obr. 29.: Strategie stringování modulů pro omezení ztrát vlivem zastínění

V obou případech jsou průběhy výroby hluboko pod křivkou spotřeby, takže veškerá energie se spotřebuje přímo pro krytí vlastní spotřeby a nebudou žádné přetoky do sítě. Přesto simulace ukázaly jisté neočekávané přetoky (250 kWh). Analýzou výsledků byl zjištěn nulový odběr 14.7. mezi 10. a 14. hodinou (Obr. 30). Jednalo se pravděpodobně o nějakou odstávku nebo výpadek v měření. Tento jev bude patrný i v dalších simulacích a nebude již detailněji komentován.



Obr. 30.: Znázornění přetoků 14.7.

7.3. Přehled variant simulací komplexu F

- tul_f_varianta1_1: 87,74 kWp, střecha ateliéru, horizontálně, 535 Wp
- tul_f_varianta1_1a: 87,74 kWp, střecha ateliéru, horizontálně, horizontální stringy, 535 Wp
- tul_f_varianta1_1b: 97,82 kWp, střecha ateliéru, horizontálně
- tul_f_varianta1_2: 87,74 kWp, střecha ateliéru, vertikálně, 535 Wp
- tul_f_varianta2_1: 48,91 kWp, střecha ateliéru, konstrukce jih, 34°
- tul_f_varianta2_1a: 48,91 kWp, střecha ateliéru, konstrukce jih, 45°
- tul_f_varianta2_2: 48,91 kWp, střecha ateliéru, konstrukce podle budovy, 34°
- tul_f_varianta3_1: 107,20 kWp, střecha ateliéru, konstrukce východ - západ, 15°
- tul_f_varianta3_1a: 107,20 kWp, střecha ateliéru, konstrukce východ - západ, 45°
- tul_f_varianta4_1: 119,26 kWp, střecha ateliéru, konstrukce východ - západ, 15° + střecha menzy konstrukce podle budovy, 34°
- tul_f_varianta4_2: 163,48 kWp, střecha ateliéru, konstrukce východ - západ, 15° + střecha menzy konstrukce podle budovy, 34° + střecha jih a světlík jih F2
- tul_f_varianta5_1: 67,41 kWp, střecha F3 východ, západ, 535 Wp
- tul_f_varianta5_2: 111,28 kWp, střecha F3 východ, západ, střecha F1 východ, západ, 535Wp
- tul_f_varianta5_2a: 107,28 kWp, střecha F3 východ, západ, střecha F1 východ, západ, 335Wp

7.4. Studie realizovatelnosti FVE za stávajícího stavu komplexu F

Stávající dispozice střechy ateliéru značně komplikuje její efektivní využití pro potřeby FVE. Za předpokladu požárních odstupů od světlíků 60 cm, jak bylo konzultováno mezi zástupci TUL a HZD, je možné využít prostor mezi světlíky pro instalaci 2 řad 535 Wp modulů na výšku nebo jedné řady na šířku o celkovém instalovaném výkonu 87,74 kWp. Alternativou je použití menších modulů (335 Wp), které umožňují lepší využití plochy a za stejných podmínek dávají celkový instalovaný výkon 97,82 kWp při poněkud kratší době návratnosti. Všechny tyto konfigurace zajišťují i dostatečné manipulační prostory pro případnou údržbu a servis FVE. Tyto varianty (tul_f_varianta1_1, tul_f_varianta1_1a, tul_f_varianta1_1b a tul_f_varianta1_2) jsou konstrukčně jednoduché, avšak nejsou ideální z hlediska maximální výtěžnosti, samočisticí schopnosti a ulpívání sněhové pokrývky. V této studii jsou uvedeny spíše pro úplnost a ilustraci některých skutečností důležitých pro správnou činnost FVE.

Z provozních i ekonomických hledisek vychází lépe umístění modulů na konstrukci. V úvahu přichází varianta sklopených modulů orientovaných na jih nebo podél „jižní“ strany střechy (tul_f_varianta2_1, tul_f_varianta2_1a, tul_f_varianta2_2). Vzhledem k charakteru stínů vychází nejlépe varianta orientovaná rovnoběžně s okrajem střechy. Tato varianta je i konstrukčně jednodušší a esteticky lepší. Žádná z těchto variant však nedokáže dobře využít komplikovaný prostor kolem světlíků a tak je instalovaný výkon přibližně poloviční (48,91 kWp) oproti řešením v předchozím odstavci. Vzhledem k lepší pozici modulů však tyto varianty vychází cca o 10 % lépe technicky i ekonomicky. Druhou možností je konstrukce východ – západ s různým sklonem (tul_f_varianta3_1, tul_f_varianta3_1a). Toto řešení nabízí největší instalovaný výkon (107,20 kWp) a technickými i ekonomickými výsledky je poněkud horší než konstrukce orientovaná na jih. Lepší je varianta s plošším sklonem.

Pro úplnost je uvedena i možnost rozšíření FVE i na střechu menzy (tul_f_varianta4_1). Jedná se o kombinaci modulů východ – západ na střeše ateliéru a jižně orientované jednořadé konstrukce na střeše menzy s celkovým výkonem 119,26 kWp. Toto řešení na první pohled slibovalo jako druhotný efekt stínění oken ateliéru pro zvýšení tepelného komfortu, simulace to však nepotvrdily. Toto řešení má sice nejrovnoměrnější rozložení výroby, ekonomicky ani technicky však nevychází příliš dobře. Obdobných (i když poněkud lepších) výsledků by se dosáhlo ještě při instalaci dalších modulů na jižní střechu budovy F2 a případně před jižní okna střešního světlíku (tul_f_varianta4_2). Celkový výkon takového systému by byl 163,48 kWp. Vzhledem k velké vzdálenosti mezi jednotlivými subsystémy by se však jednalo spíše o 2 nezávislé systémy, neboť v opačném případě by bylo velice komplikované provedení kabeláže se zbytečnými ztrátami.

Největší komplikací je stávající provedení hromosvodů. Při hrubém odhadu přeskokové vzdálenosti $s = 60$ cm je značně omezená využitelná plocha zejména jižně od světlíků. Značné komplikace by působilo i křížení DC vodičů s jednotlivými částmi hromosvodu (opět nutno dodržet přeskokovou vzdálenost s). Tyto problémy by se ale mohli vyřešit během plánované rekonstrukce střechy. V případě souběžné rekonstrukce hromosvodu jako oddáleného (pomocí HVI prvků), by značně vzrostla využitelná plocha.

Naprosto jiné řešení je využití východních a západních střech objektů F1 a F3 (tul_f_varianta5_1, tul_f_varianta5_2 a tul_f_varianta5_2a). V případě osazení střech F3 by FVE měla výkon 67,41 kWp. Při využití střech obou objektů by celkový výkon vzrostl na 111,28 kWp, což je méně než dvojnásobek výkonu samotné F3. Tento rozpor je dán rozdělením střech F1 zachytávací sněhu. Snaha o lepší využití těchto ploch instalací 335 Wp modulů není účelná (tul_f_varianta5_2a), neboť výsledný systém má o 4 kWp menší instalovaný výkon. Největší problém pro dobré využití ploch nezpůsobují větrací komínky na jednotlivých střechách, ale právě zachytávací sněhu.

Kromě uvedených skutečností je potřeba uvažovat změnu podmínek na jednotlivých střechách z hlediska ochrany před úderem blesku, statického a dynamického zatížení střechy.

Kromě samotného projektu FVE je tedy nutné provést novou analýzu rizik a přepracovat (nebo alespoň) zkontrolovat LPS, aby za nové situace (nová vodivá konstrukce na střeše) odpovídal podmínkám stanoveným v souboru českých technických norem kolem ČSN EN 62305. LPS by měl být v případě instalace FVE zásadně provedený jako oddálený. Připomínám, že dodržení přeskokové vzdálenosti s platí pro všechny části

FVE, tedy i pro kabely a montážní konstrukce. To platí i pro různé propojené kovové prvky (okapy, háky okapů, úžlabnice, zachycovače sněhu...), které mohou fungovat jako náhodné svodiče. Problém často nastává zejména při chybném křížení nebo nesprávném pospojování (uzemnění). V případě úderu blesku se může na panely dostat nebezpečné napětí, které je může poškodit, případně se přes FV systém dostat až do objektu. To platí obzvláště, pokud není FVE správně vybavena řádnými přepět'ovými ochranami. Obecně by mělo být DC vedení chráněno co nejvíce na začátku přepět'ovou ochranou 1. stupně a na konci přepět'ovou ochranou 2. stupně. Pozor na rozdíl mezi DC a AC variantou!

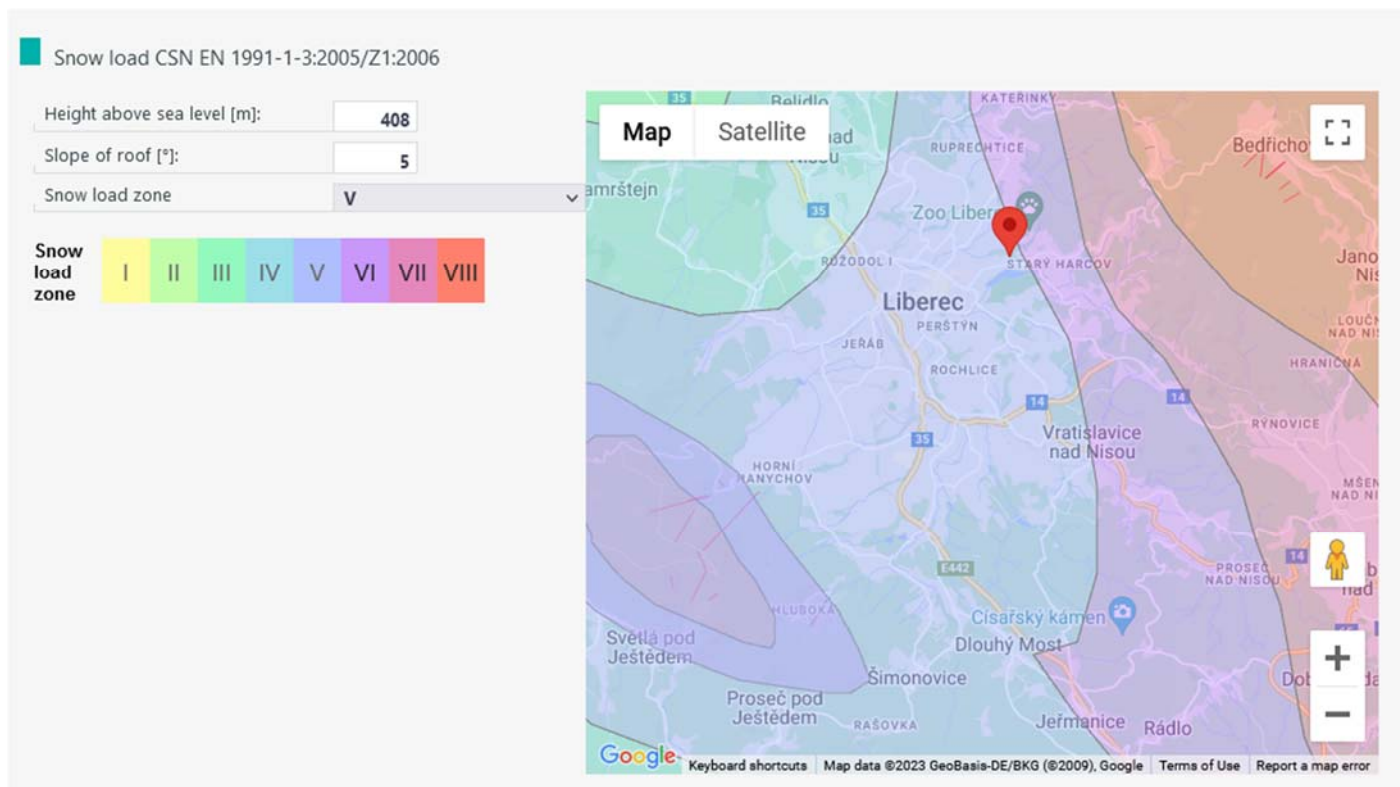
V případě přepracování stávajících hromosvodů je často možné využít existující (a nadále nevyužité) prvky pro účely vyrovnání potenciálů (uzemnění FVE). To musí být řádně provedeno vodivým pospojováním jednotlivých modulů nebo alespoň polí. Případné nevyrovnání potenciálů může být nebezpečné (např. při náhodném dotyku) i při jiných pracích na střeše než je přímo servis FVE. Využití kovových montážních prvků samotné FVE pro tyto účely se považuje za nevyhovující (různé přechodové odpory). Správné propojení jednotlivých polí by mělo být provedeno samostatným vodičem a taktéž připojení na nulový potenciál (uzemnění) by mělo být provedeno samostatným vodičem vedeným v dostatečné vzdálenosti od LPS. FVE provedená v rozporu s uvedeným se považuje za nebezpečnou.

Obdobně je nutné uvažovat podle platných norem (ČSN 33 2000, ČSN 73 6005...) i ochranné pásmo případných dalších zařízení a rozvodů (např. rozvody plynu). Přestože tato zařízení nebyla během návštěvy zhotovitele studie (5.4.2023) zjištěna, je nutné provést kontrolu. To platí i pro případný souběh vedení FVE.

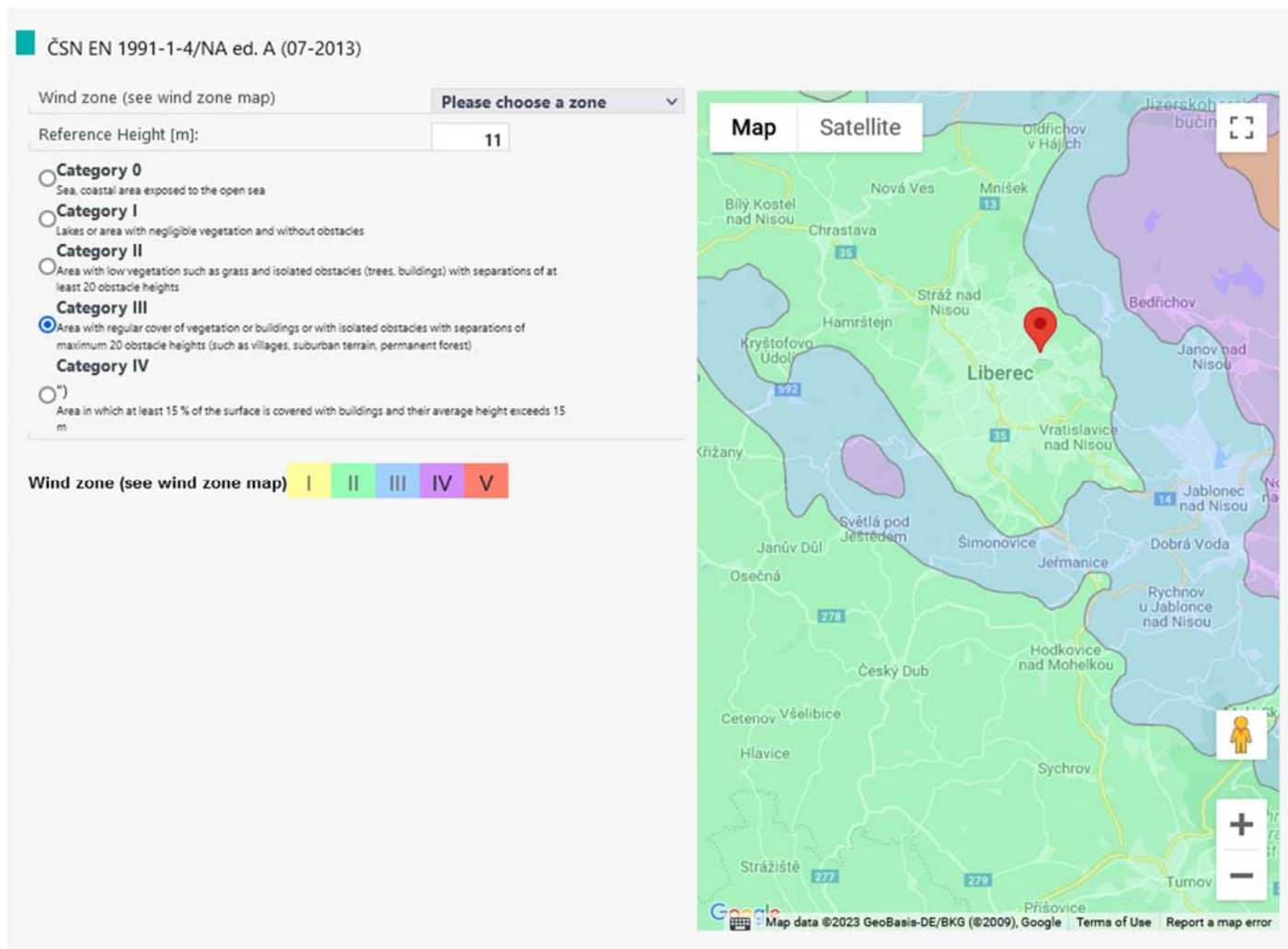
Běžné FVE montované na standardních montážních konstrukcích zvyšují plošné zatížení střechy přibližně o 15 – 25 kg/m². Existují však řešení (uvažované i v této studii), které jsou značně namáhány větrem (obzvláště skloněné konstrukce). Zejména zadní vítr vyvolává velký klopný moment kolem přední části konstrukce. A právě na tento moment musí být střecha dimenzována, respektive staticky posouzena. V případě málo únosných střech je možné použít lehké „aero profily“ tvořené pouze speciálně profilovaným plechem, které se ke střešní konstrukci nijak nekotví a jsou pouze „volně“ položeny. Aerodynamický profil zajišťuje při správné instalaci správnou funkci montážního systému. V tomto případě lze dodatečné zatížení střechy snížit k hodnotám 10 – 12 kg/m².

Kromě únosnosti střešní konstrukce musí podmínkám namáhání odpovídat i konkrétní provedení montážních konstrukcí. Pouze pokud jsou montážní konstrukce správně provedeny z certifikovaných prvků a spočítány pomocí autorizovaného SW, odpovídá výrobce za správnou funkci konstrukce. S ohledem na statické zatížení sněhem musí FVE vyhovovat ČSN EN 1991-1-3. Podle běžného komerčního výpočtového systému (Mounting Systems) vychází v tomto případě zatížení panelů sněhem na 1,733 kN/m² pro sklon modulů 34° a 2,000 kN/m² pro sklon 5° (Obr. 31). Na toto zatížení musí být navržena montážní konstrukce. Tato hodnota se dále musí připočítat k dodatečnému zatížení střechy FVE (viz. výše) a pro toto zatížení je nutné vypracovat statický posudek střechy.

Provedení FV systému musí také podle ČSN EN 1991-1-4 respektovat dynamické namáhání účinky větru. Z tohoto hlediska jsou kritické zejména hrany a rohy jednotlivých instalačních ploch. Pro běžně používané montážní konstrukce (vzdálenost modulů od plochy 10 – 12 cm) platí hrubé pravidlo, které nedoporučuje montáž modulů do vzdálenosti od okraje plochy rovné alespoň 5 násobku výšky modulů nad plochou. Moduly se tedy nedoporučuje instalovat blíže než 60 cm od okraje (respektive pro budovy s výškou do 10 m). Ve snaze o maximální využití montážní plochy (co největší instalovaný výkon) někteří projektanti toto pravidlo nedodržují. V této oblasti vznikají silné turbulence, které konstrukci a moduly extrémně namáhají. Výrobci montážních systémů v takovém případě důrazně doporučují zvýšit počet kotevních bodů (profilů a háků). I tento požadavek bývá často z cenových důvodů ignorován. Obr. 32 ukazuje výpočet účinků větru ve zvolené lokalitě (Mounting Systems). Pro výšku budovy 11 m vychází dynamické zatížení na 0,692 kN/m².



Obr. 31.: Výpočet statického zatížení panelů sněhem (Mounting Systems)



Obr. 32.: Výpočet dynamického zatížení panelů větrem (Mounting Systems)

Běžně dostupné FV moduly jsou testovány podle IEC 61215 (DIN EN 61215), příp. IEC 61646 (DIN EN 61646) na zatížení 2400 Pa (pouze volitelně 5400 Pa) a většina výrobců nedoporučuje kotvení na krátkých stranách modulů. Pro zvýšení odolnosti systému se doporučuje zvýšit počet kotevnic bodů modulu ze 2 na 3 nebo více podél dlouhé strany a zvolit panel certifikovaný na 5400 Pa. Problém se týká zejména velkých nebo „light weight“ nezasklených modulů.

Ve statí o ochraně před účinky blesku byla zmíněna problematika chránění DC vedení. Kromě přepětových ochrann musí být DC kabely chráněny proti poruchám. Nejčastějším řešením je pojistkový odpínač. Opět zdůrazňuji zásadní rozdíl mezi AC a DC přístroji. Protože stejnosměrný proud neprochází na rozdíl od střídavého „nulou“, je mnohem obtížnější DC proudy vypínat (respektive zhasínat DC oblouky vzniklé při spínacích jevech). Z toho důvodu je cena DC přístrojů mnohem vyšší a tyto bývají někdy při instalaci neodborně nahrazovány levnějšími AC přístroji se „stejnými“ parametry. Takové řešení je ale provozně nespolehlivé a tato záměna je nepřipustná. To se týká i bateriových odpínačů v hybridních systémech, kde jsou proudy ještě řádově mnohem větší.

Další bezpečnostní prvek, kterým musí být ve většině případů FVE (respektive DC vedení) vybavena je „požární tlačítko“. V principu se jedná se o dálkově ovládané motorizované kontakty. Tato jednotka by měla být co nejbližší modulům, aby byla od napětí odpojena co nejdelší část vedení. Ovládací tlačítko by mělo být na přístupném místě (doporučuji konzultovat s HZS). Funkce odpojení je někdy řešena pomocí optimizérů.

Toto zařízení je připojené k jednotlivým modulům (nebo skupině modulů) a primárně slouží k optimalizaci provozu modulů při nerovnoměrném zastínění. Na Obr. 27 – 29 je vidět zapojení nerovnoměrně zastíněných modulů do stringů. V případě velkého rozdílu dochází k ovlivnění celého stringu, který je celý schopný generovat právě pouze proud „nejhoršího“ (zastíněného) modulu. Energie generovaná osluněnými (nebo lepšími) moduly se maří ohřevem tohoto nejhoršího. Nastává paradoxní situace, kdy nejméně osluněný modul (ale to samé platí i poškozený nebo nejméně kvalitní modul) je nejvíce zahříván. To má kromě energetických ztrát vliv i na životnost a degradaci, v extrémním případě i k zavinění požáru. K omezení energetických ztrát je možné v takovém případě použít optimizéry, které zajistí, že každý modul (nebo skupina modulů) bude pracovat na svůj maximální výkon a nebude ovlivňovat zbytek stringu. Toto řešení se může jevit jako velice zajímavé a někteří výrobci (SolarEdge, Victron...) ho standardně používají. Kromě navýšení výroby mohou optimizéry sloužit k monitoringu nebo právě k odpojení (případně zkratování) modulů (zkratování není v případě FV modulů nebezpečné, neboť zkratový proud je blízký provoznímu). Nevýhodou je kromě nutnosti výběru kompatibilní technologie větší cena a hlavně složitost systémů. Kromě vlastních optimizérů se navyšuje i počet konektorů, které jsou často podceňovaným prvkem s velkým vlivem na spolehlivost a bezpečnost systému (selhání konektor je jednou z nejčastějších příčin požáru FVE). Z těchto důvodů jsem toto řešení nenabízel. Existují jiné způsoby, jak v případě budov TUL eliminovat vliv zastínění.

Pro fotovoltaické elektrárny by měly být použity pouze speciální certifikované vodiče. Konstrukčně se jedná o CuSn vodiče třídy 5 se zvýšenou odolností (UV záření, vyšší teplota...). Pozor, pro dimenzování těchto vodičů nelze vycházet z ČSN 33 2000, neboť se jedná o zcela jiný charakter zatížení. FVE je zdroj pracující v dlouhém intervalu na vysoký výkon. Vodiče se nachází na střeše a v blízkosti modulů, kde se teploty mohou běžně pohybovat kolem 70 °C, což je v tomto případě základní teplota vodiče! Pracovní teplota se pak může dlouhodobě pohybovat i kolem 95 °C. Za správný návrh se pro FVE považuje, pokud jouleovy ztráty nepřekračují 1 %. Přestože se jedná o vodiče se zvýšenou odolností, doporučuje se volit takové kabelové trasy, aby byly vodiče dobře upevněny a chráněny před vnějšími vlivy (mechanické namáhání, živočichové, UV záření...). Použití přídavných krytů se doporučuje i pro krytí střídačů a dalších částí FVE vystavených vnějším vlivům (i určených pro vnější instalaci). Při volbě kabelových tras dohlédnout, aby vodiče netvořily velké smyčky (omezení vlivu indukce v případě blízkého úderu blesku).

7.5. Simulace FVE za stávajícího stavu komplexu F

Souhrnné srovnání jednotlivých variant popsaných výše je v Tab. 1. Pro lepší orientaci jsou v Tab. 2 shrnuty základní technické parametry jednotlivých variant. Doporučené varianty jsou zvýrazněny šedou barvou.

Největší specifický výnos 1029,31 kWh/kWp nabízí tul_f_varianta2_2 se 48,91 kWp v konfiguraci 146 x 335 Wp modulů umístěných na skloněné konstrukci s úhlem 34° a orientované podle okraje střechy. Vzhledem k zastínění plochy vychází tento systém dokonce lépe než teoreticky ideální orientace na jih (tul_f_varianta2_2). Tento systém také slibuje největší návratnost investice (IRR – Internal Rate of Return) 18,83 % a nejkratší dobu návratnosti (PP – Payback Period) 5,2 roku. Tento výsledek potvrzuje obecné pravidlo, že malé systémy vycházejí ekonomicky zpravidla lépe než velké. Nevýhoda této varianty je však malý instalovaný výkon daný špatným využitím členité střechy pro tento typ konstrukce. Dalším problémem může být velké namáhání konstrukce střechy větrem. Tato konstrukce je velice citlivá zejména na zadní vítr, který vyvolává klopný moment kolem přední části konstrukce. A právě na tento moment musí být střecha dimenzována, respektive staticky posouzena.

Vezmeme-li v úvahu technickou kvalitu jednotlivých řešení (PR – Power Ratio), vychází nejlépe varianta tul_f_varianta3_1 s výkonem 107,20 kWp (východ – západ) a hodnotou PR 84,3 %. Z tohoto pohledu vychází dobře i největší varianta tul_f_varianta5_2a (84,1 %).

Jak bylo řečeno výše, do velikosti přibližně 200 kWp nebude mít FVE prakticky žádné přetoky. Z tohoto pohledu vychází nejlépe pochopitelně malé instalace a poněkud hůře ty největší. Ve srovnání s celkovou spotřebou se však jedná o zanedbatelné množství pro všechny varianty, které by se nevyplatilo řešit bateriovým systémem.

varianta	instalovaný výkon	roční výroba	spec. roční výnos	stupeň využití (PR)	vnitřní míra návratnosti (IRR)	doba návratnosti, (PP)	roční přetoky
	kWp	kWh	kWh/kWp	%	%	roky	kWh
tul_f_varianta1_1	87,74	80531	917,42	82,3	16,71	5,8	250
tul_f_varianta1_1a	87,74	79863	909,81	81,7	16,56	5,9	250
tul_f_varianta1_1b	97,82	91427	934,27	83,7	17,03	5,7	287
tul_f_varianta1_2	87,74	80034	911,75	81,8	16,60	5,9	250
tul_f_varianta2_1	48,91	50249	1027,01	81,6	18,79	5,2	140
tul_f_varianta2_1a	48,91	48105	983,16	78,6	17,97	5,4	134
tul_f_varianta2_2	48,91	50362	1029,31	82,4	18,83	5,2	147
tul_f_varianta3_1	107,20	100542	937,31	84,3	17,37	5,7	316
tul_f_varianta3_1a	107,20	88530	825,25	81,1	15,23	6,4	255
tul_f_varianta4_1	119,26	107889	904,05	80,7	16,77	5,9	348
tul_f_varianta4_2	163,48	148386	907,08	81,9	16,88	5,8	477
tul_f_varianta5_1	67,41	59043	875,74	82,1	16,20	6,1	169
tul_f_varianta5_2	111,28	98663	889,25	83,0	16,51	6,0	289

tul_f_vari- anta5_2a	107,28	96313	897,56	84,1	16,78	5,9	281
-------------------------	--------	-------	--------	------	-------	-----	-----

Tab. 1.: Srovnání variant FVE pro komplex F

varianta	popis
tul_f_vari- anta1_1	164 x 535 Wp, horizontálně
tul_f_vari- anta1_1a	164 x 535 Wp, horizontálně, horizontální stringy
tul_f_vari- anta1_1b	292 x 335 Wp, horizontálně
tul_f_vari- anta1_2	164 x 535 Wp, vertikálně
tul_f_vari- anta2_1	146 x 335 Wp, konstrukce jih, 34°
tul_f_vari- anta2_1a	146 x 335 Wp, konstrukce jih, 45°
tul_f_vari- anta2_2	146 x 335 Wp, konstrukce podle budovy, 34°
tul_f_vari- anta3_1	320 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 15°
tul_f_vari- anta3_1a	320 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 45°
tul_f_vari- anta4_1	356 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 15° + menza konstrukce podle budovy 34°
tul_f_vari- anta4_2	488 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 15° + menza konstrukce podle budovy 34° + F2 jih
tul_f_vari- anta5_1	126 x 535 Wp, F3 střecha, východ - západ
tul_f_vari- anta5_2	126 x 535 Wp, východ, západ, horizontálně F3 + 82 x 535 Wp, východ, západ, horizontálně F1
tul_f_vari- anta5_2a	126 x 535 Wp, východ, západ, horizontálně F3 + 119 x 335 Wp, východ, západ, horizontálně F1

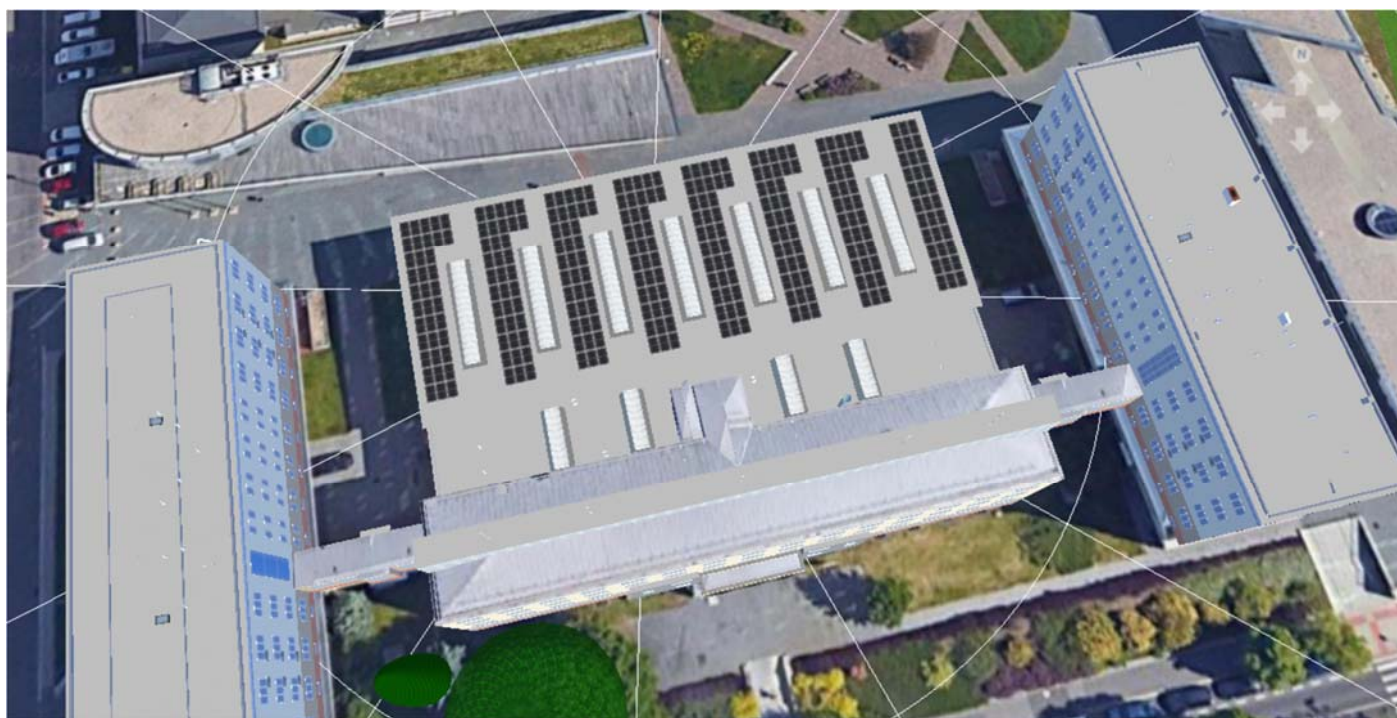
Tab. 2.: Technické parametry FVE pro komplex F

Doporučené varianty, které jsou v Tab.1 a 2 znázorněny šedou barvou, jsou na následujících stránkách detailně shrnuty. Kromě přehledového pohledu na FVE, základních parametrů a výroby jsou pro každou variantu znázorněny průběhy výroby a její využitelnosti pro krytí vlastní spotřeby. Vzhledem ke specifickému charakteru spotřeby jsou znázorněny týdenní diagramy pro jaro, léto, podzim i zimu. Z hlediska efektivnosti systému jsou důležité zejména intervaly s minimální spotřebou (víkendy a léto).

Po posouzení jednotlivých hledisek se jeví jako nejlepší varianta tul_f_varianta3_1 s instalovaným výkonem 107,20 kWp. Toto řešení má nejvyšší stupeň využití PR (84,3 %) specifický roční výnos 937,31 kWh/kWp. Jedná se o konstrukci východ – západ, která by mohla být realizována i pomocí lehkých aero profilů (snadná instalace, malé plošné zatížení střechy). Dispoziční řešení slibuje i dobrý přístup k FVE pro případný servis a údržbu.

Jednotlivé dílčí varianty jsou představeny na Obr. 33 – 62. Detaily je možné dohledat v příložených studiích pro jednotlivé projekty.

7.5.1. Varianta 1: 97,82 kWp (tul_f_varianta1_1b)

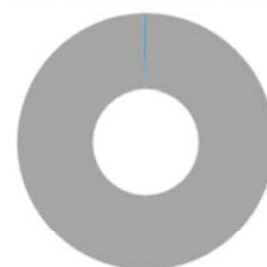


Obr. 33.: Přehled instalace (tul_f_varianta1_1b)

FV systém

Instalovaný výkon	97,82 kWp
Spec. Roční výnos	934,27 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	83,73 %
Snížení výnosu zastíněním	9,3 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	91 427 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	91 141 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	287 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	42 954 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

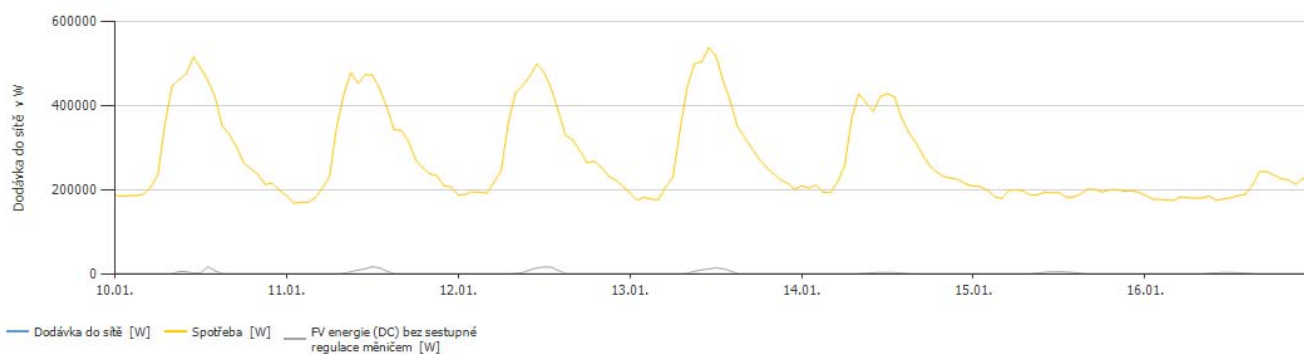
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	36 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 450 kWh/Rok
pokryto FVS	91 141 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 949 310 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	4,5 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

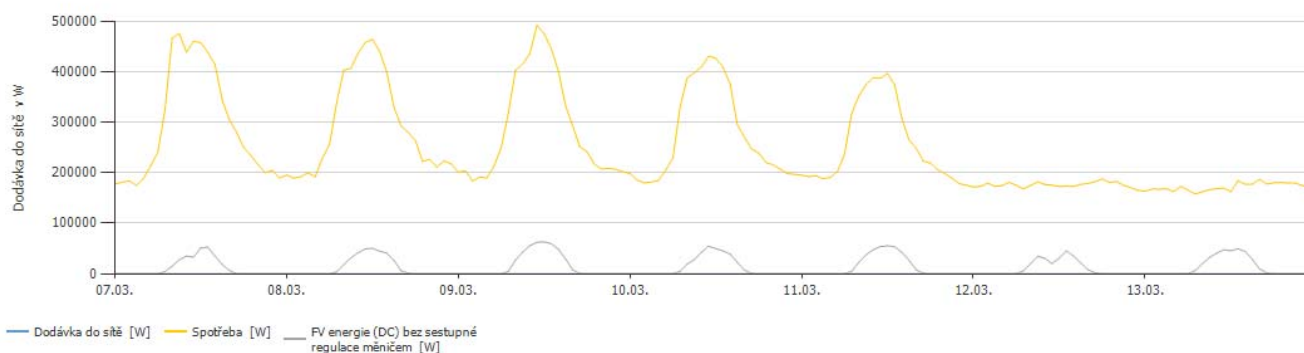


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

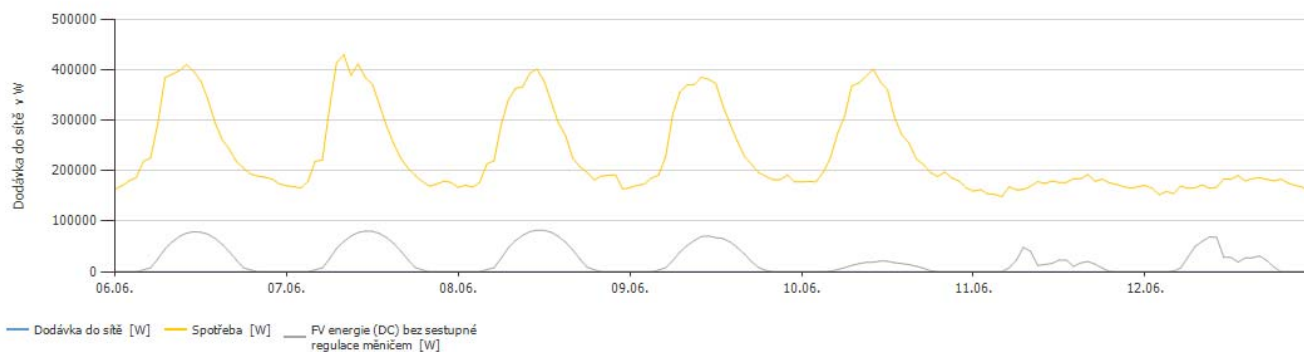
Obr. 34.: Výsledky simulace (tul_f_varianta1_1b)



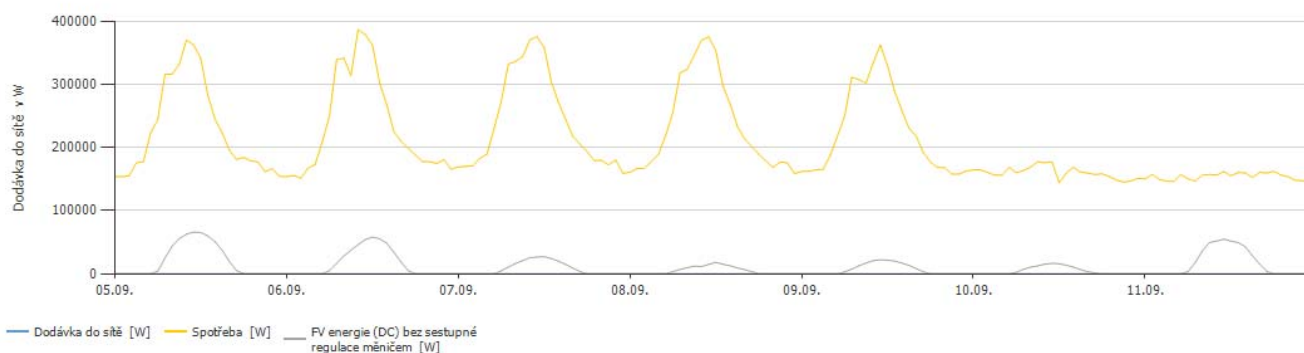
Obr. 35.: Výroba v zimě (tul_f_varianta1_1b)



Obr. 36.: Výroba na jaře (tul_f_varianta1_1b)



Obr. 37.: Výroba v létě (tul_f_varianta1_1b)



Obr. 38.: Výroba na podzim (tul_f_varianta1_1b)

7.5.2. Varianta 2: 48,91 kWp (tul_f_varianta2_2)

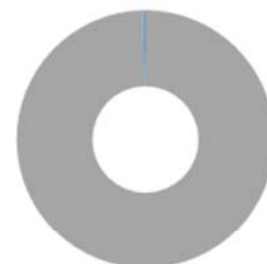


Obr. 39.: Přehled instalace (tul_f_varianta2_2)

FV systém

Instalovaný výkon	48,91 kWp
Spec. Roční výnos	1 029,31 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	82,35 %
Snížení výnosu zastíněním	10,4 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	50 362 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	50 215 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	147 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	23 661 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

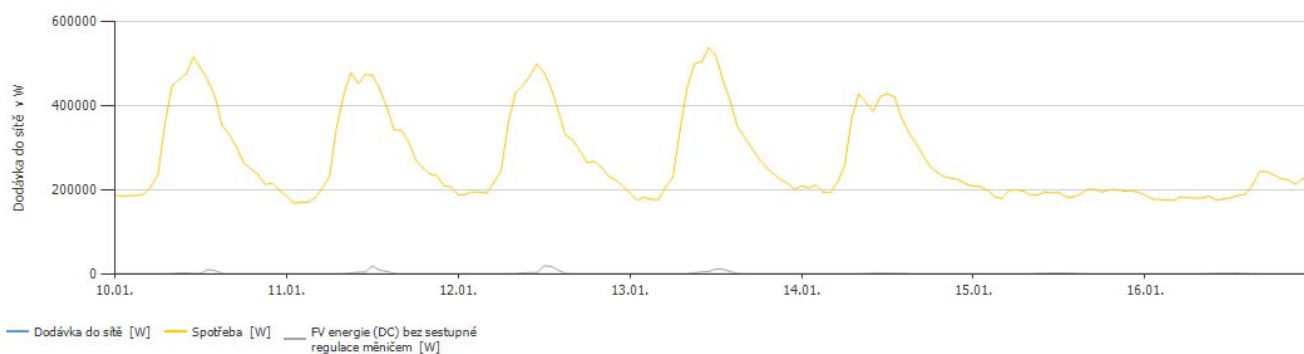
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	18 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 432 kWh/Rok
pokryto FVS	50 215 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 990 218 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	2,5 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

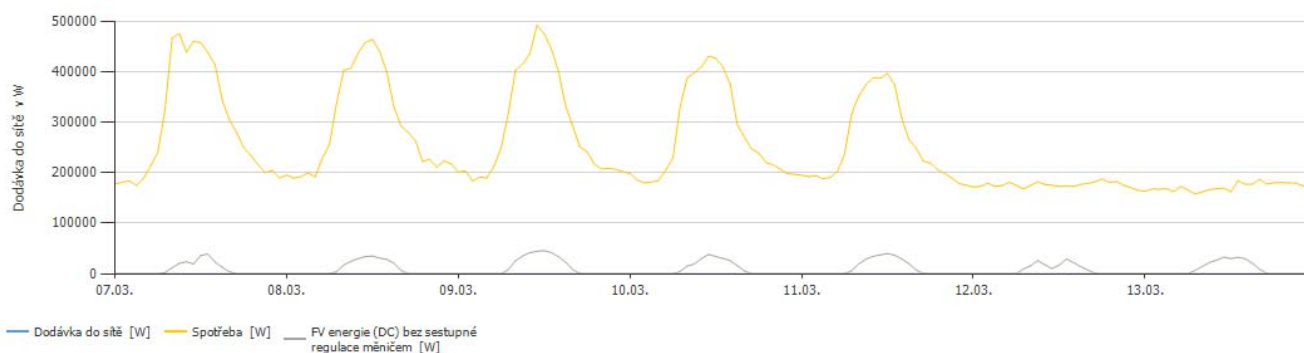


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

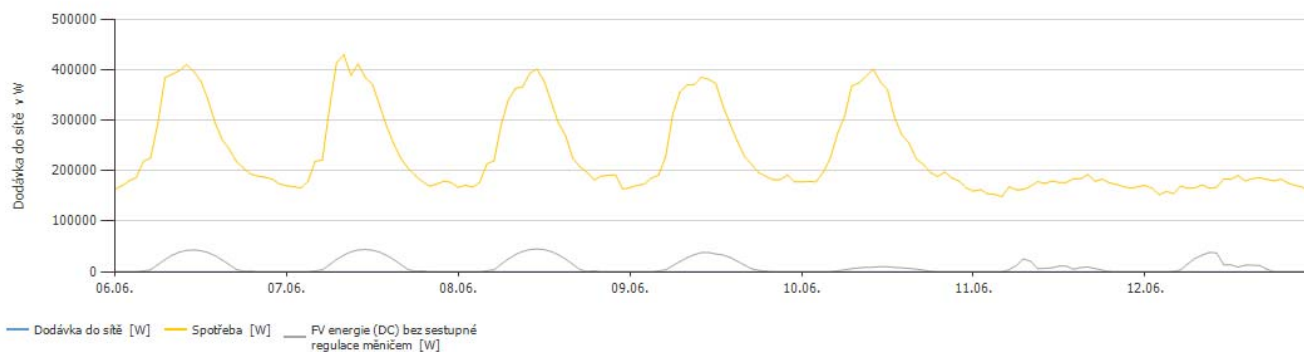
Obr. 40.: Výsledky simulace (tul_f_varianta2_2)



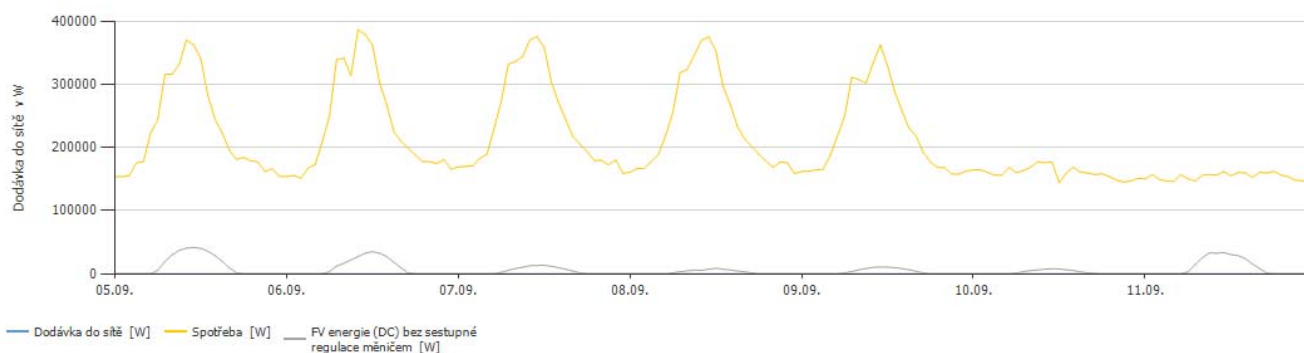
Obr. 41.: Výroba v zimě (tul_f_varianta2_2)



Obr. 42.: Výroba na jaře (tul_f_varianta2_2)



Obr. 43.: Výroba v létě (tul_f_varianta2_2)



Obr. 44.: Výroba na podzim (tul_f_varianta2_2)

7.5.3. Varianta 3: 107,20 kWp (tul_f_varianta3_1)

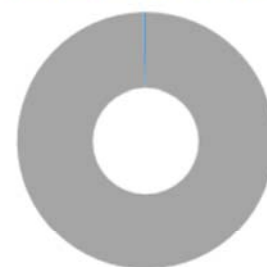


Obr. 45.: Přehled instalace (tul_f_varianta3_1)

FV systém

Instalovaný výkon	107,20 kWp
Spec. Roční výnos	937,31 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	84,31 %
Snížení výnosu zastíněním	8,2 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	100 542 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	100 227 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	316 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	47 225 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



Vlastní spotřeba
 Ztráta energie omezením výkonu
 v místě připojení
 Dodávka do sítě

Spotřebiče

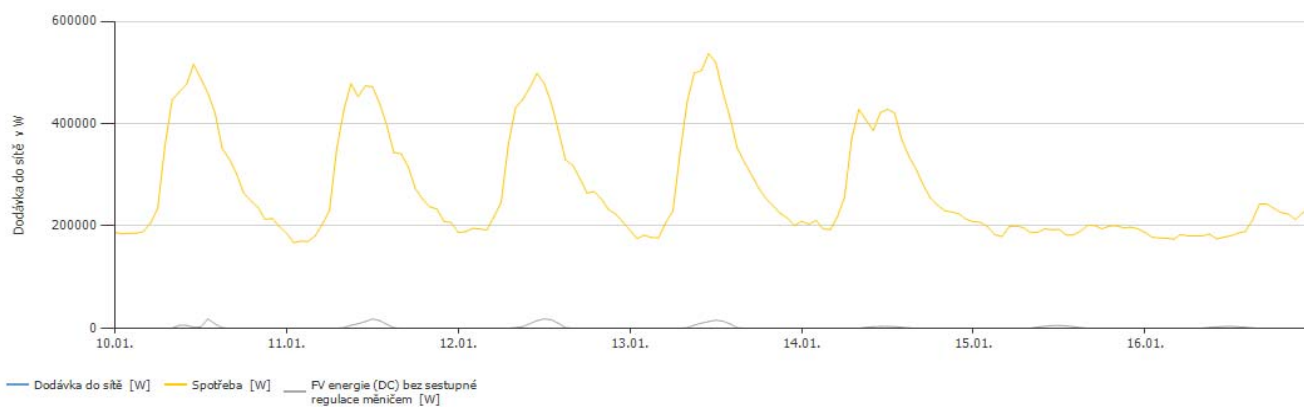
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	63 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 477 kWh/Rok
pokryto FVS	100 227 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 940 250 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	4,9 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

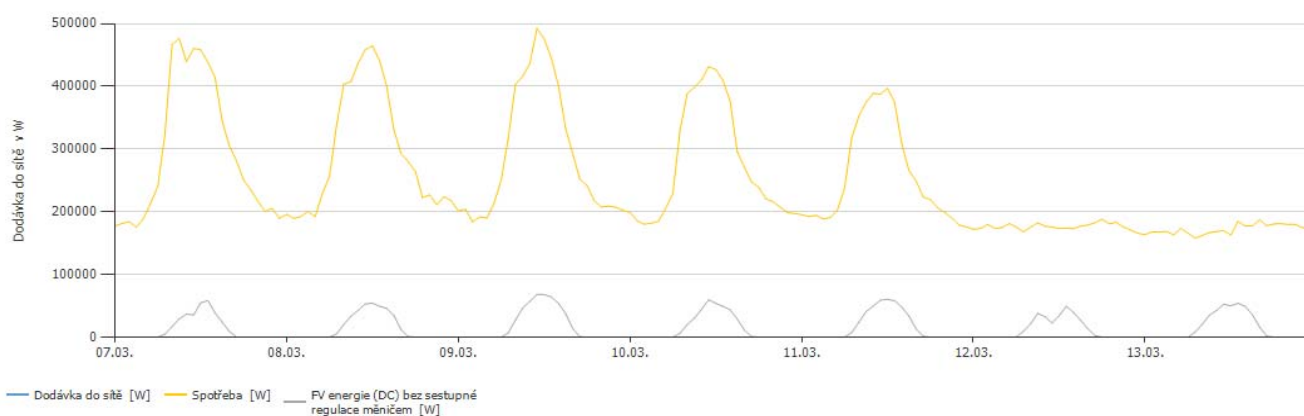


pokryto FVS
 pokryto ze sítě

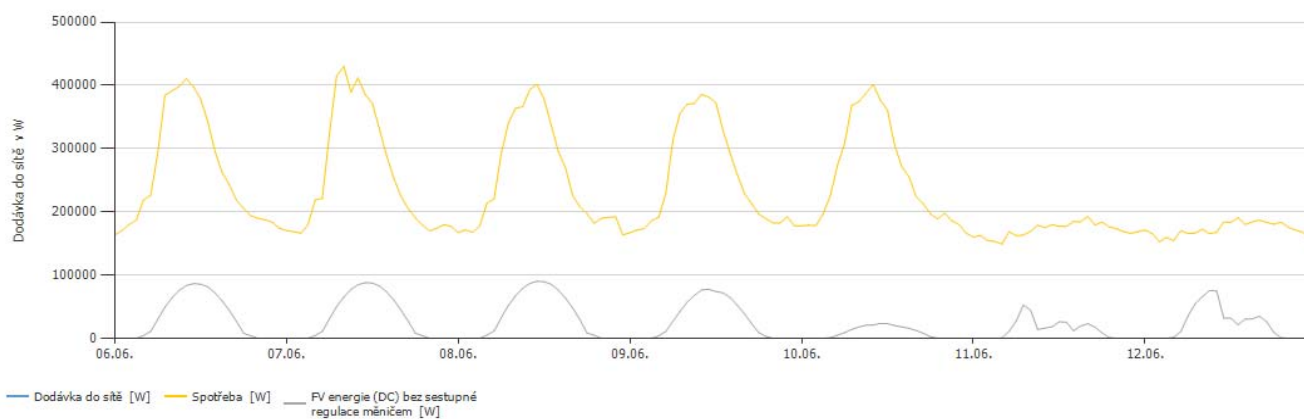
Obr. 46.: Výsledky simulace (tul_f_varianta3_1)



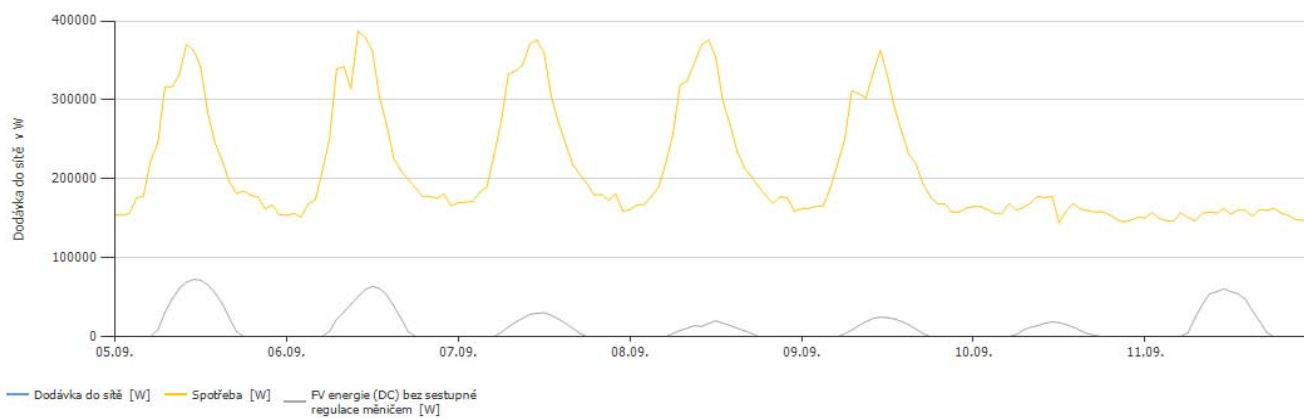
Obr. 47.: Výroba v zimě (tul_f_varianta3_1)



Obr. 48.: Výroba na jaře (tul_f_varianta3_1)



Obr. 49.: Výroba v létě (tul_f_varianta3_1)



Obr. 50.: Výroba na podzim (tul_f_varianta3_1)

7.5.4. Varianta 4: 163,48 kWp (tul_f_varianta4_2)

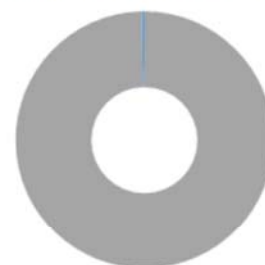


Obr. 51.: Přehled instalace (tul_f_varianta4_2)

FV systém

Instalovaný výkon	163,48 kWp
Spec. Roční výkon	907,08 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	81,89 %
Snížení výkonu zastíněním	11,3 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	148 386 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	147 908 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	477 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	69 696 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

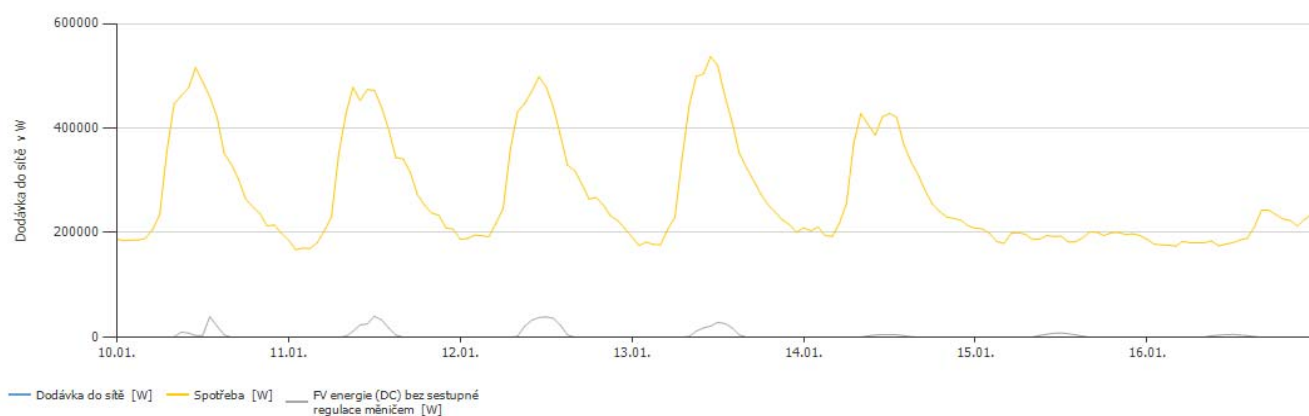
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	96 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 510 kWh/Rok
pokryto FVS	147 908 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 892 602 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	7,2 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

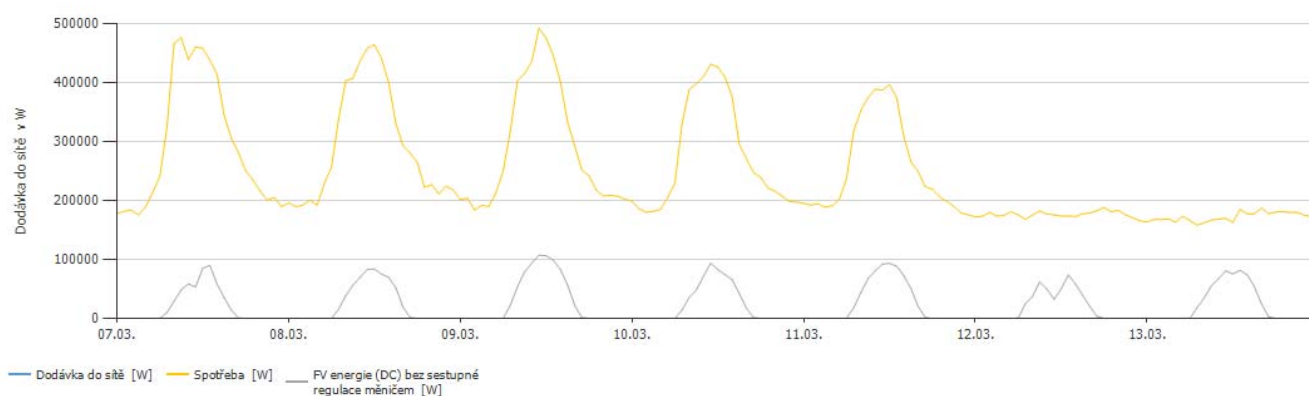


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

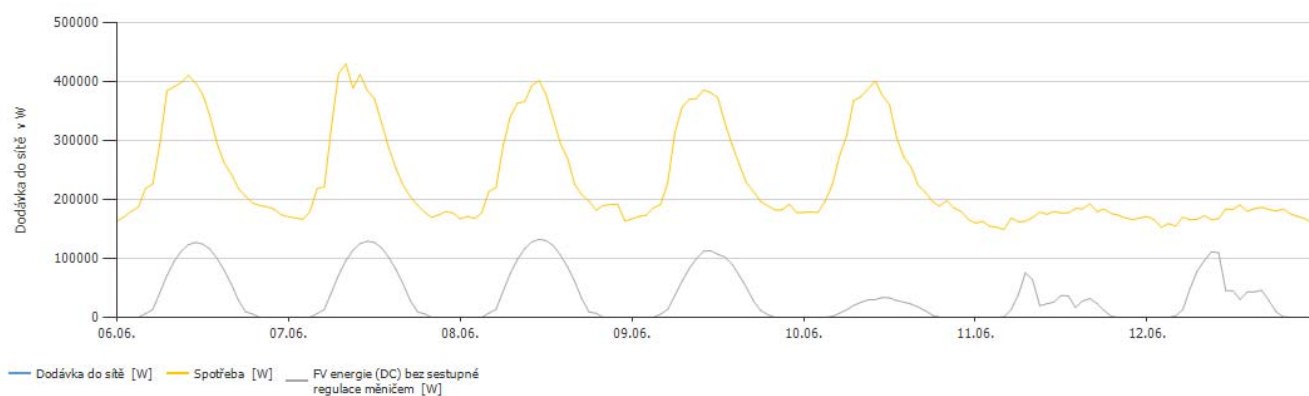
Obr. 52.: Výsledky simulace (tul_f_varianta4_2)



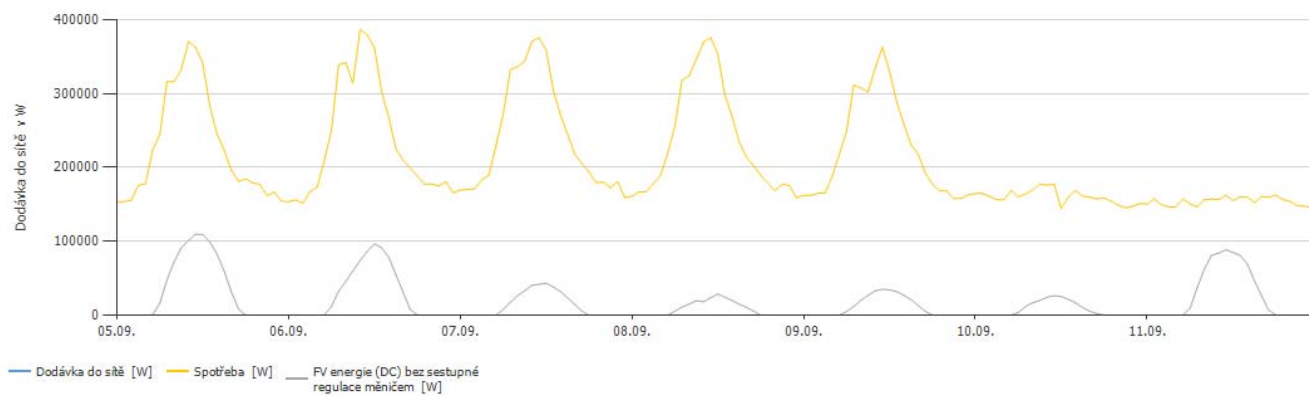
Obr. 53.: Výroba v zimě (tul_f_varianta4_2)



Obr. 54.: Výroba na jaře (tul_f_varianta4_2)



Obr. 55.: Výroba v létě (tul_f_varianta4_2)



Obr. 56.: Výroba na podzim (tul_f_varianta4_2)

7.5.5. Varianta 5: 111,28 kWp (tul_f_varianta5_2)

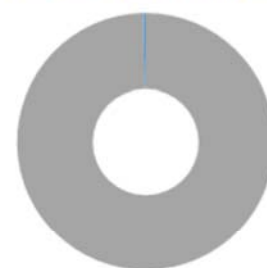


Obr. 57.: Přehled instalace (tul_f_varianta5_2)

FV systém

Instalovaný výkon	97,82 kWp
Spec. Roční výnos	934,27 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	83,73 %
Snížení výnosu zastíněním	9,3 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	91 427 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	91 141 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	287 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	42 954 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



Vlastní spotřeba
 Ztráta energie omezením výkonu
 v místě připojení
 Dodávka do sítě

Spotřebiče

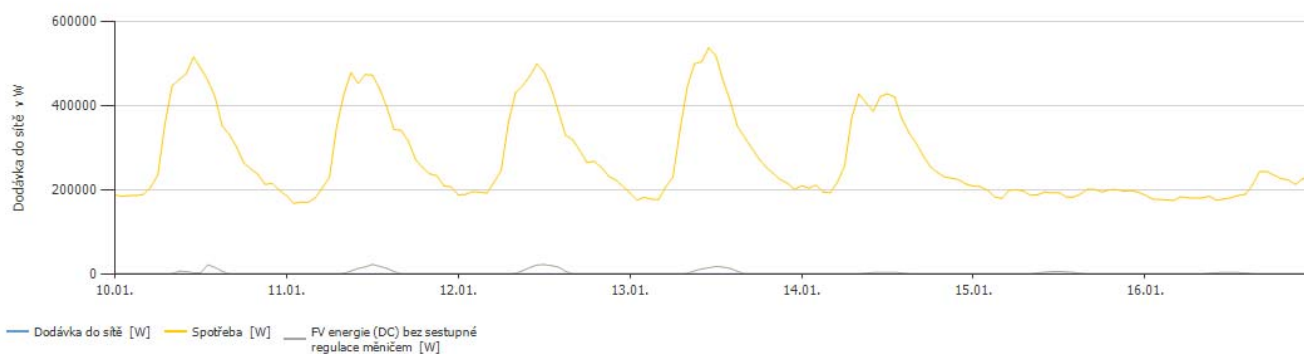
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	36 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 450 kWh/Rok
pokryto FVS	91 141 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 949 310 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	4,5 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

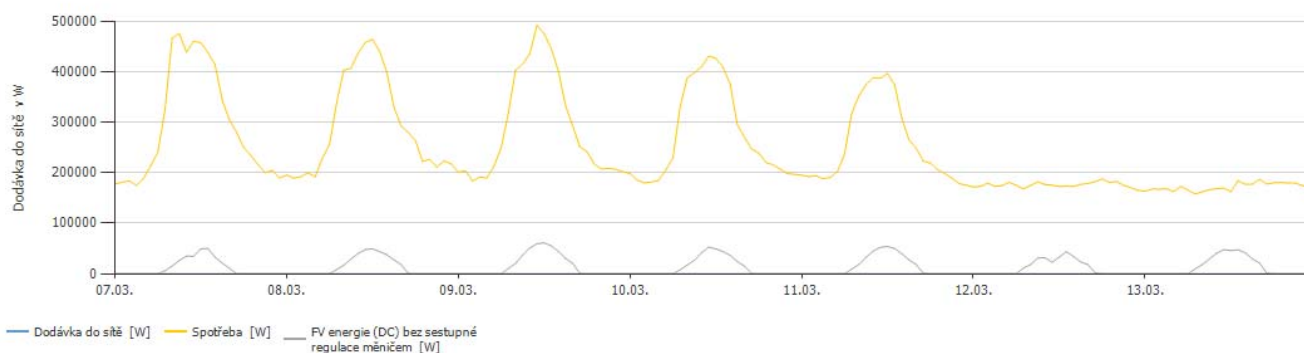


pokryto FVS
 pokryto ze sítě

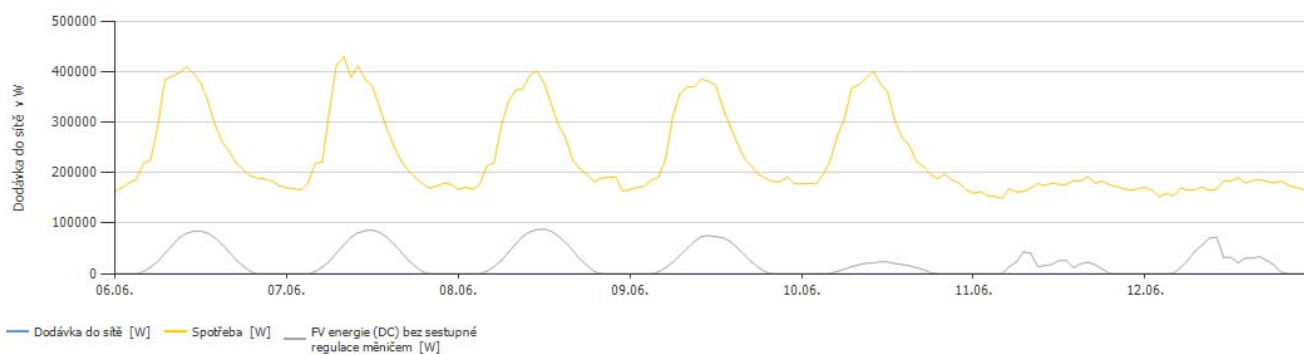
Obr. 58.: Výsledky simulace (tul_f_varianta5_2)



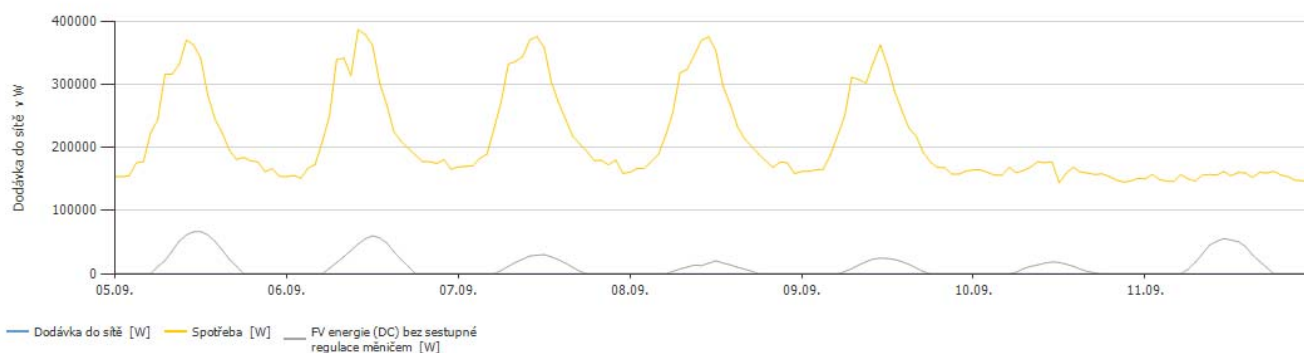
Obr. 59.: Výroba v zimě (tul_f_varianta5_2)



Obr. 60.: Výroba na jaře (tul_f_varianta5_2)



Obr. 61.: Výroba v létě (tul_f_varianta5_2)



Obr. 62.: Výroba na podzim (tul_f_varianta5_2)

7.6. Návrh úprav pro lepší využitelnosti komplexu F

Pro efektivnější využití střechy ateliéru doporučuji zejména zcela rekonstruovat hromosvody. Použitím nových jímáčů a HVI vodičů by se zvětšila využitelná plocha o 97 modulů (51,90 kWp). Je však třeba provést analýzu rizik a následný výpočet celé soustavy.

Stávající části LPS by bylo pravděpodobně následně možné využít pro galvanické pospojování kovových konstrukcí a FVE pro vyrovnaní potenciálů (uzemnění). Pozor, pro tyto účely by mělo být použito samostatného vodiče vedeného v dostatečné vzdálenosti od LPS.

Jako příklad zlepšených podmínek je přepočítána doporučená varianta z kap. 7.5 (tul_f_varianta3_1) na FVE využívající celou „uvolněnou“ plochu střechy (tul_f_varianta6_1).

Pro srovnání je nasimulována varianta s většími panely 535 Wp (tul_f_varianta6_1a). Opět je vidět, že díky členitosti střechy je výhodnější použít menší panely. Tato varianta má přibližně o 20 kWp menší instalovaný výkon než předchozí. Situace se změní pouze v případě velké volné plochy, na příklad pokud by bylo možné překrýt světlíky (tul_f_varianta6_2, tul_f_varianta6_2a). Varianta s většími panely (535 Wp) má v tomto případě o 10 kWp větší výkon. Toto řešení by mohlo být zajímavé i s ohledem na tepelný komfort v budově, ovlivnilo by to však zároveň světelné podmínky v ateliéru. Provedení konstrukce nad světlíky je nutné konzultovat s HZS. Detaily jednotlivých variant jsou v Tab. 3 a 4. V Tab. 5 je provedeno srovnání s původní doporučenou variantou (tul_f_varianta3_1 – šedě označeno).

varianta	instalovaný výkon	roční výroba	spec. roční výnos	PR	vnitřní míra návratnosti	dobu návratnosti	roční přetoky
tul_f_varianta6_1	140,03	133147	950,79	85,5	17,62	5,6	426
tul_f_varianta6_1a	121,98	112233	919,64	82,8	17,03	5,8	359
tul_f_varianta6_2a	211,86	196269	926,28	83,4	17,16	5,7	650
tul_f_varianta6_2	201,00	191136	950,80	85,5	17,63	5,6	625

Tab. 3.: Srovnání variant FVE pro komplex F po úpravách

varianta	popis
tul_f_varianta6_1	418 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 15°, bez hromosvodů
tul_f_varianta6_1a	228 x 535 Wp, konstrukce východ-západ, 15°, bez hromosvodů
tul_f_varianta6_2a	396 x 535 Wp, konstrukce východ-západ, 15°, bez hromosvodů, zakryté světlíky
tul_f_varianta6_2	600 x 335 Wp, konstrukce východ-západ, 15°, bez hromosvodů, zakryté světlíky

Tab. 4.: Technické parametry FVE pro komplex F po úpravách

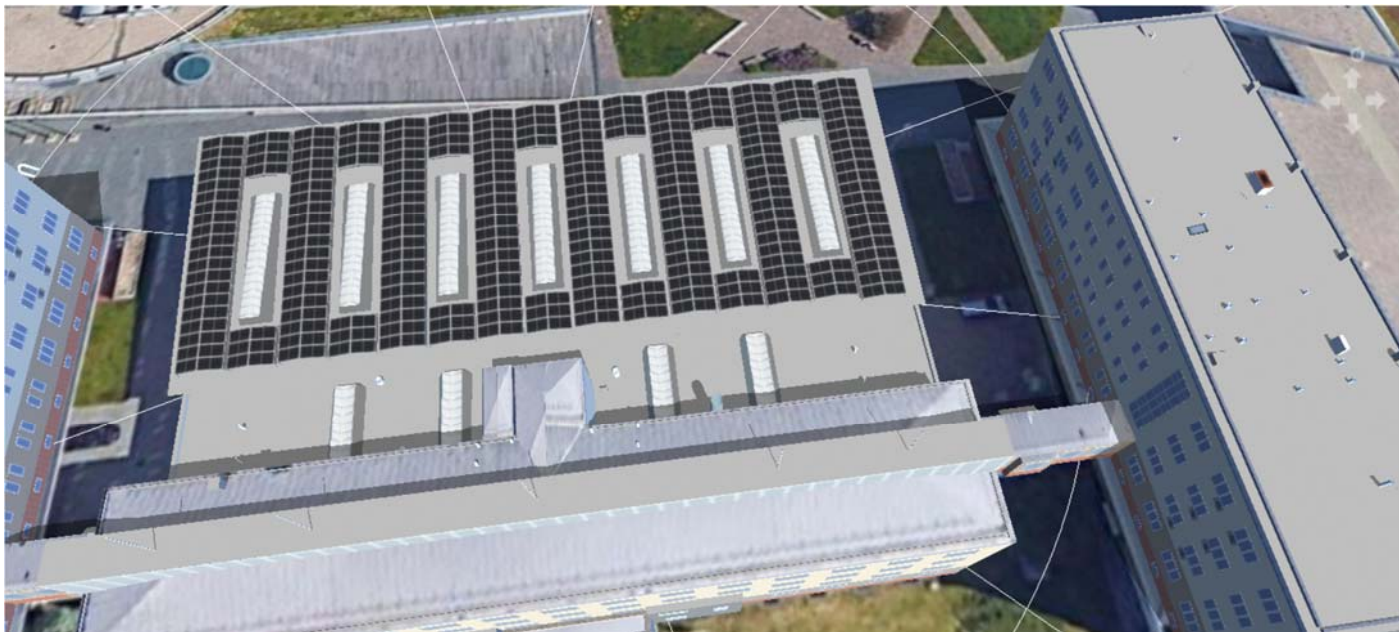
varianta	instalovaný výkon	roční výroba	spec. roční výnos	PR	vnitřní míra návratnosti	dobu návratnosti	roční přetoky
tul_f_varianta3_1	107,20	100542	937,31	84,3	17,37	5,7	316

tul_f_vari- anta6_1	140,03	133147	950,79	85,5	17,62	5,6	426
tul_f_vari- anta6_2a	211,86	196269	926,28	83,4	17,16	5,7	650

Tab. 5.: Srovnání FVE pro komplex F před a po úpravách

Podrobná analýza variant využití střechy ateliéru po úpravách (tul_f_varianta6_1, tul_f_varianta6_1a, tul_f_varianta6_2a) je znázorněna na Obr. 63 – 80.

7.6.1. Varianta 6: 140,03 kWp (tul_f_varianta6_1)

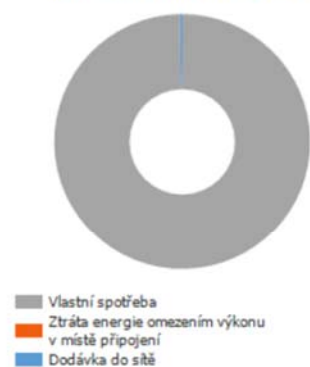


Obr. 63.: Přehled instalace (tul_f_varianta6_1)

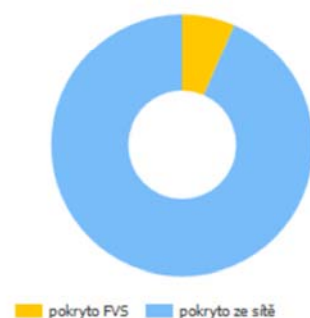
FV systém	
Instalovaný výkon	140,03 kWp
Spec. Roční výnos	950,79 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	85,52 %
Snížení výnosu zastíněním	8,0 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	133 147 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	132 722 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	426 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	62 575 kg/rok

Spotřebiče	
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	9 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 423 kWh/Rok
pokryto FVS	132 722 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 907 701 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	6,5 %

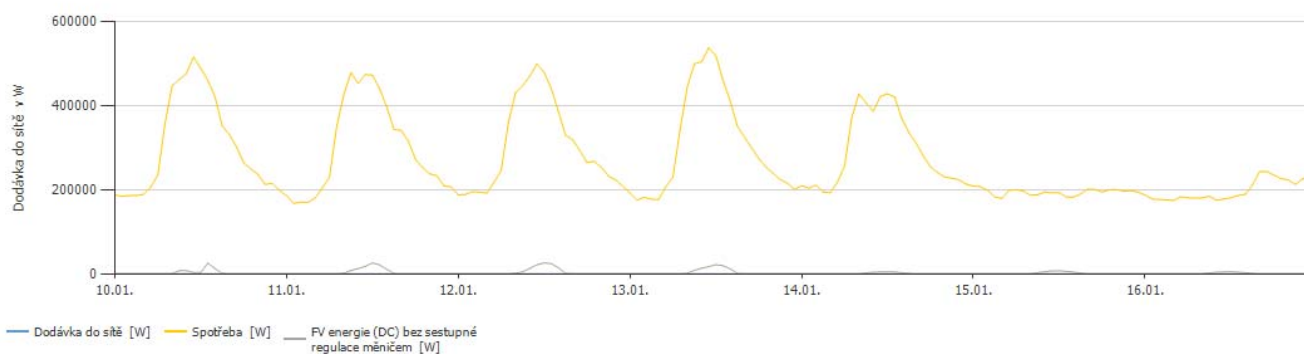
Energetický výnos FVS (AC síť)



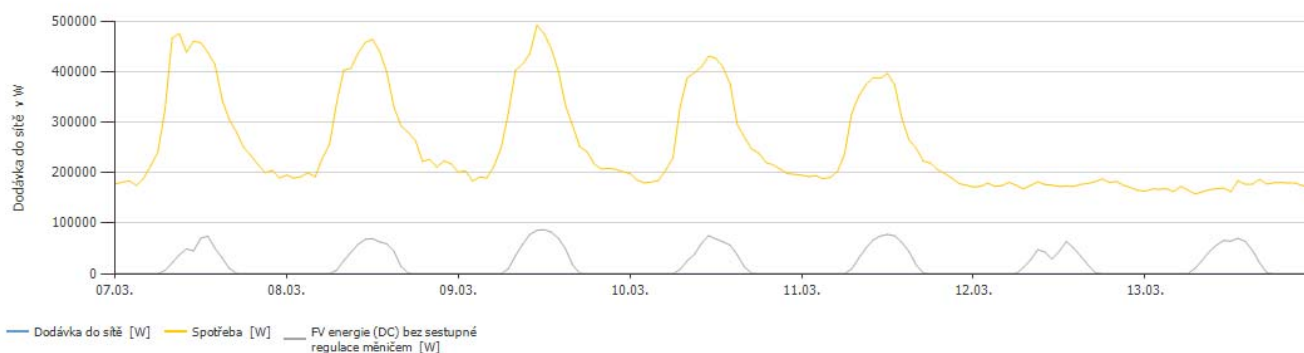
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby



Obr. 64.: Výsledky simulace (tul_f_varianta6_1)



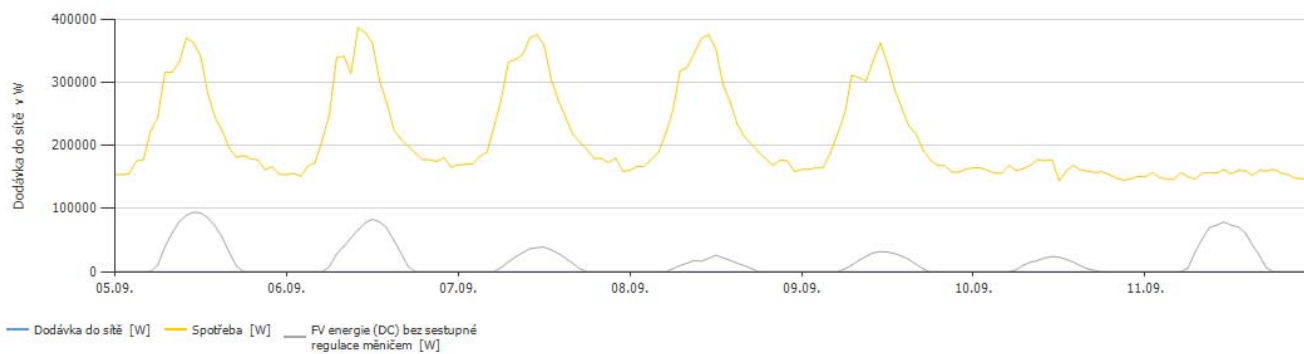
Obr. 65.: Výroba v zimě (tul_f_varianta6_1)



Obr. 66.: Výroba na jaře (tul_f_varianta6_1)



Obr. 67.: Výroba v létě (tul_f_varianta6_1)



Obr. 68.: Výroba na podzim (tul_f_varianta6_1)

7.6.2. Varianta 7: 140,03 kWp (tul_f_varianta6_1a)



Obr. 59.: Přehled instalace (tul_f_varianta6_1a)

FV systém

Instalovaný výkon	121,98 kWp
Spec. Roční výnos	919,64 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	82,84 %
Snížení výnosu zastíněním	6,9 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	112 233 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	111 874 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	359 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	52 723 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



Vlastní spotřeba
 Ztráta energie omezením výkonu
 v místě připojení
 Dodávka do sítě

Spotřebiče

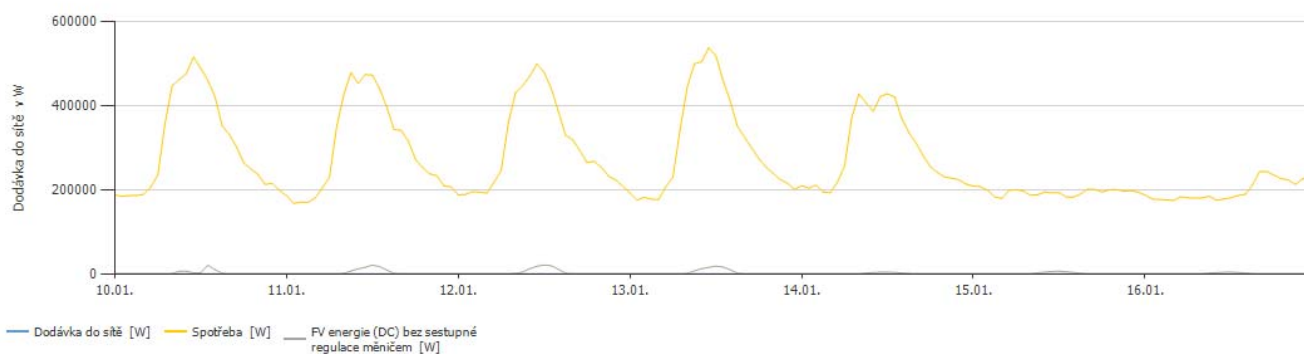
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	55 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 469 kWh/Rok
pokryto FVS	111 874 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 928 595 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	5,5 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

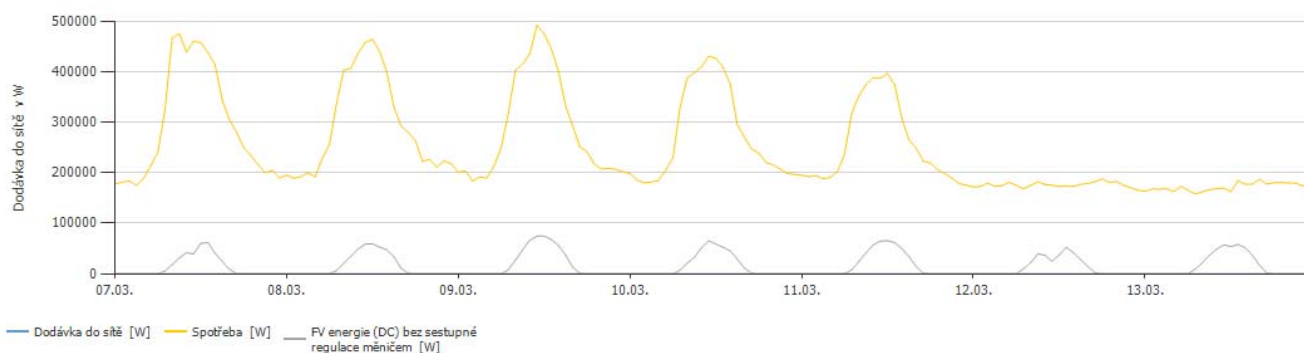


pokryto FVS
 pokryto ze sítě

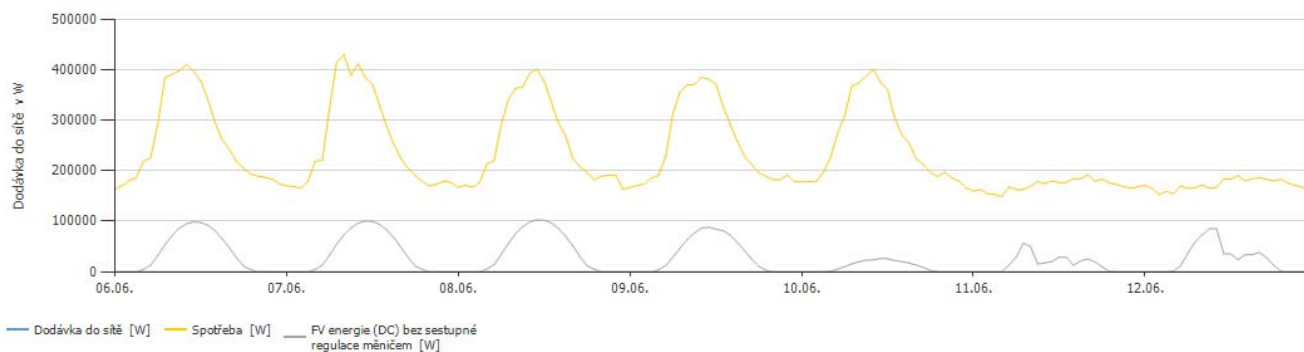
Obr. 70.: Výsledky simulace (tul_f_varianta6_1a)



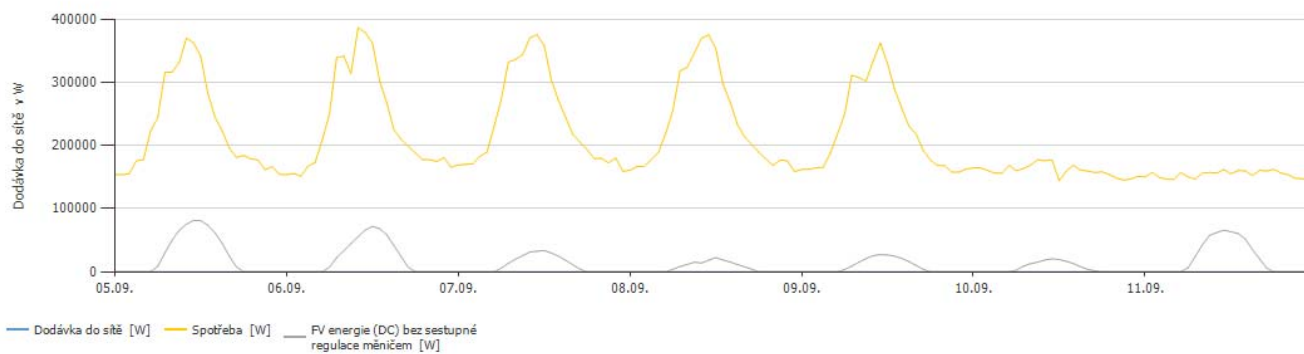
Obr. 71.: Výroba v zimě (tul_f_varianta6_1a)



Obr. 72.: Výroba na jaře (tul_f_varianta6_1a)



Obr. 73.: Výroba v létě (tul_f_varianta6_1a)



Obr. 74.: Výroba na podzim (tul_f_varianta6_1a)

7.6.3. Varianta 8: 140,03 kWp (tul_f_varianta6_2a)

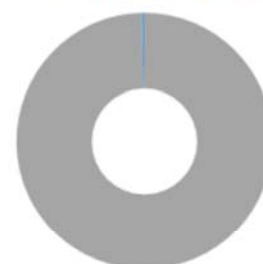


Obr. 75.: Přehled instalace (tul_f_varianta6_2a)

FV systém

Instalovaný výkon	211,86 kWp
Spec. Roční výkon	926,28 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	83,44 %
Snížení výkonu zastíněním	6,8 %
Energetický výkon FVS (AC síť)	196 269 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	195 619 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	650 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	92 234 kg/rok

Energetický výkon FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

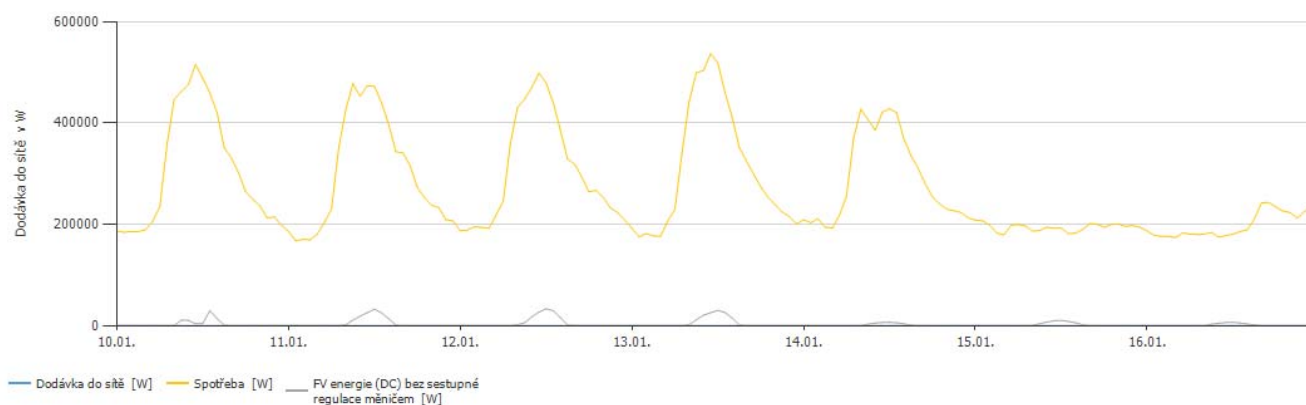
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	26 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 440 kWh/Rok
pokryto FVS	195 619 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 844 821 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	9,6 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

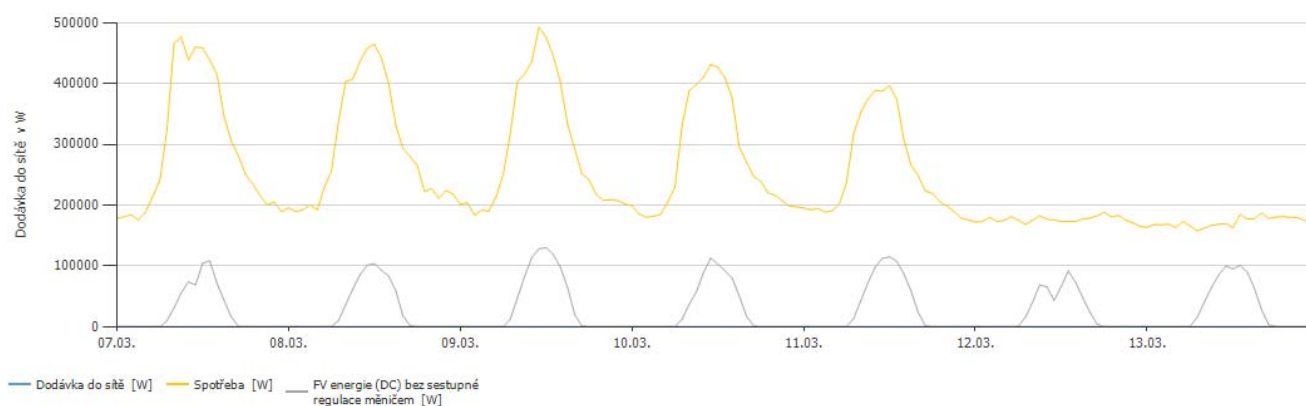


■ pokryto FVS ■ pokryto ze sítě

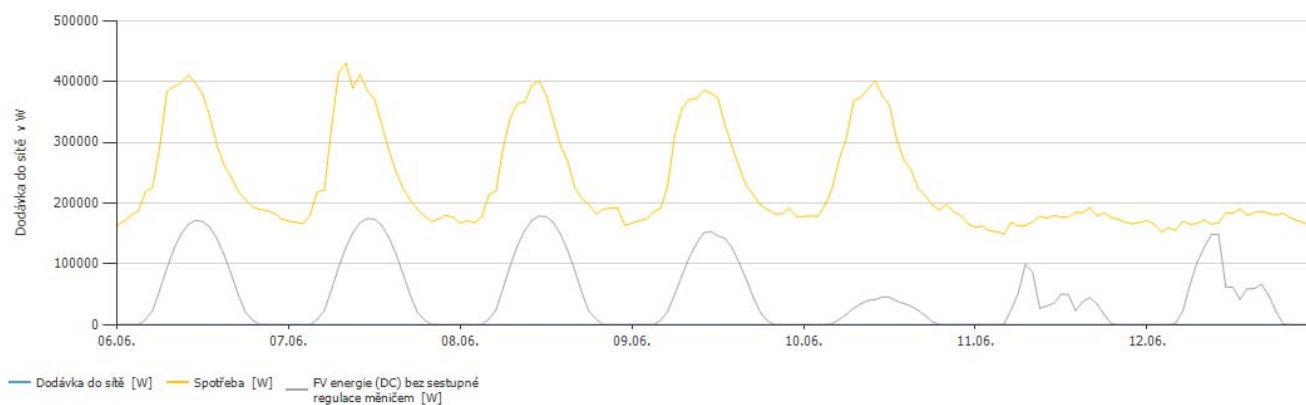
Obr. 76.: Výsledky simulace (tul_f_varianta6_2a)



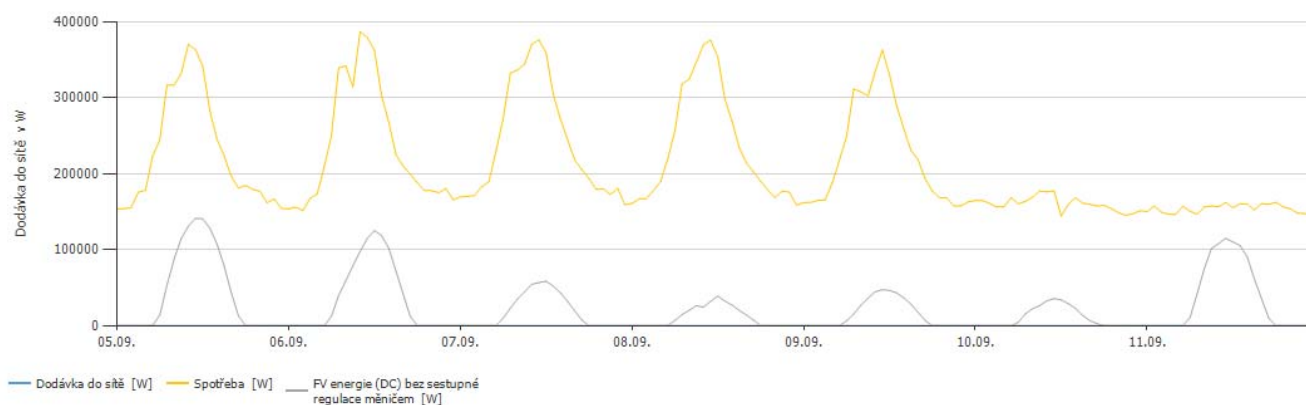
Obr. 77.: Výroba v zimě (tul_f_varianta6_2a)



Obr. 78: Výroba na jaře (tul_f_varianta6_2a)



Obr. 79.: Výroba v létě (tul_f_varianta6_2a)



8. Komplex budov B + C + D – základní rozvaha

Komplex budov B + C + D se skládá ze 2 samostatných bloků propojených krátkým spojovacím krčkem a orientovaných podobným způsobem jako blok F na jihovýchod.

Budovy C tvoří půdorys Z a pro energetické využití nabízí velké východní, západní a jižní plochy střech. Střechy však obsahují velký počet vikýřů a dalších prvků, které podstatně omezují využitelnost ploch. Situace by se na rozdíl od kap. 7 příliš nezměnila ani po úpravě střešních prvků (musely by být odstraněny vikýře).

Budovy B jsou tvořeny 2 rohovými „věžičkami“, které nenabízejí rozumnou volnou plochu, a prostředním traktem s jižní skloněnou a rovnou pultovou střechou. Tyto plochy by mohly být využity pro instalaci FVE, avšak pouze omezeného výkonu.

Budovy A nabízí 3 ploché střechy různě utopené v celém komplexu. Jejich využití je opět omezené.

8.1. Analýza zastínění komplexu F

Na Obr. 81 - 83 je patrný průběh stínu v zimním období (1.1.) mezi východem a západem slunce (8:10 – 15:20). Jedná se o dobu blízkou zimnímu slunovratu s nejkratší dobou slunečního svitu. Východní střechy vysoké budovy C nejsou celé dopoledne ničím stíněny a obdobně západní střechy odpoledne. Detailní vliv různých prvků na jednotlivých střechách je popsán dále.

Jižní a plochá střecha budovy střední budovy B taktéž nejsou prakticky celý den zastíněné, zatímco ploché střechy budov A se odstíní až odpoledne. Ze simulace je patrné zkracování stínu, prodlužování doby svitu a zvětšování nezastíněné plochy v následujících měsících, ale bez podstatného vlivu.

Jak je patrné z Obr. 84 - 86, od počátku astronomického jara se i střecha budovy A dostává z vlivu zastínění a může být částečně (v zadní části) efektivně využita pro FV systém. Oproti tomu střechy prostřední budovy jsou více stíněné západní „věžičkou“ tak, jak postupuje slunce více na západ.

Obr. 87 - 89 dokazují, že vliv stínů v letním období je na ploché střeše budovy A minimální a střecha je využitelná prakticky po celý den (kromě úplně přední části). Obdobně plochá střecha budovy B není prakticky zastíněná, zatímco jižní šikmá střecha je stíněná od cca 17. hod západní „věžičkou“, která se dostává do cesty paprskům (je poněkud předsazená).

Průběh stínů ve druhé polovině roku je analogický znázorněným průběhům.

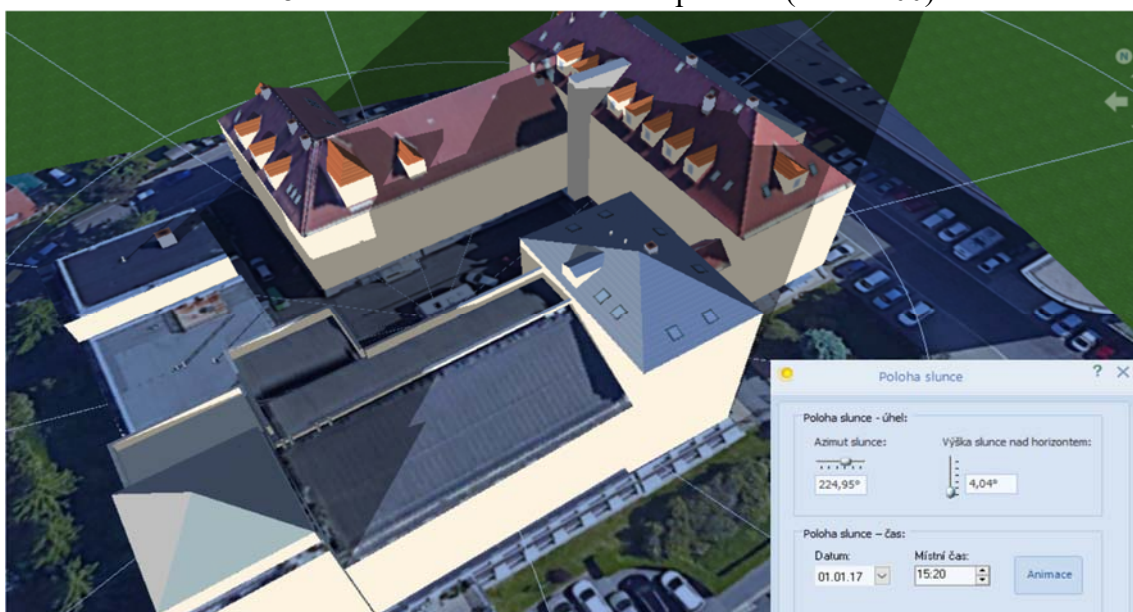
8.1.1. Průběh zastínění v zimě



Obr. 81.: Průběh zastínění v zimě po východu slunce (1.1. 8:10)



Obr. 82.: Průběh zastínění v zimě v poledne (1.1. 12:00)



Obr. 83.: Průběh zastínění v zimě před západem slunce (1.1. 15:20)

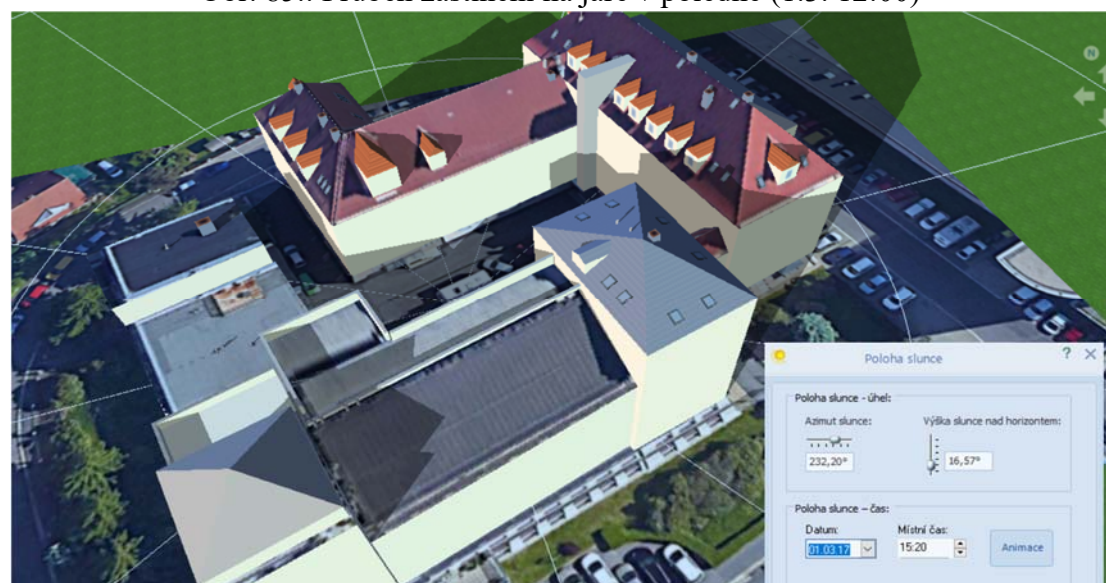
8.1.2. Průběh zastínění na jaře



Obr. 84.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.3. 9:10)



Obr. 85.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.3. 12:00)

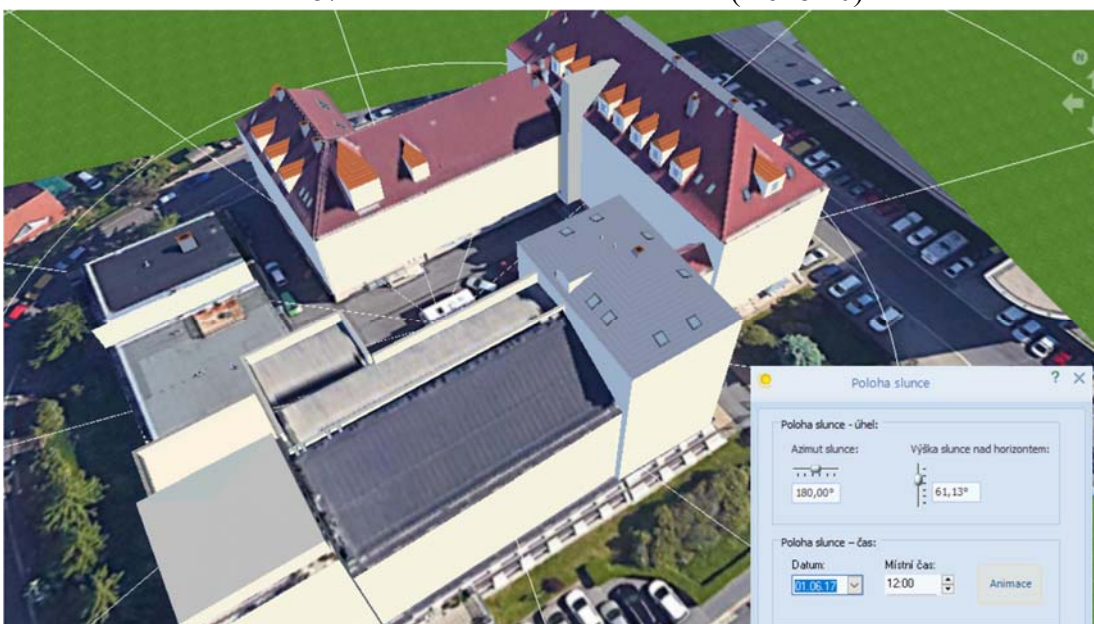


Obr. 86.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.3. 15:20)

8.1.3. Průběh zastínění v létě



Obr. 87.: Průběh zastínění v létě ráno (1.6. 8:10)



Obr. 88.: Průběh zastínění v létě v poledne (1.6. 12:00)



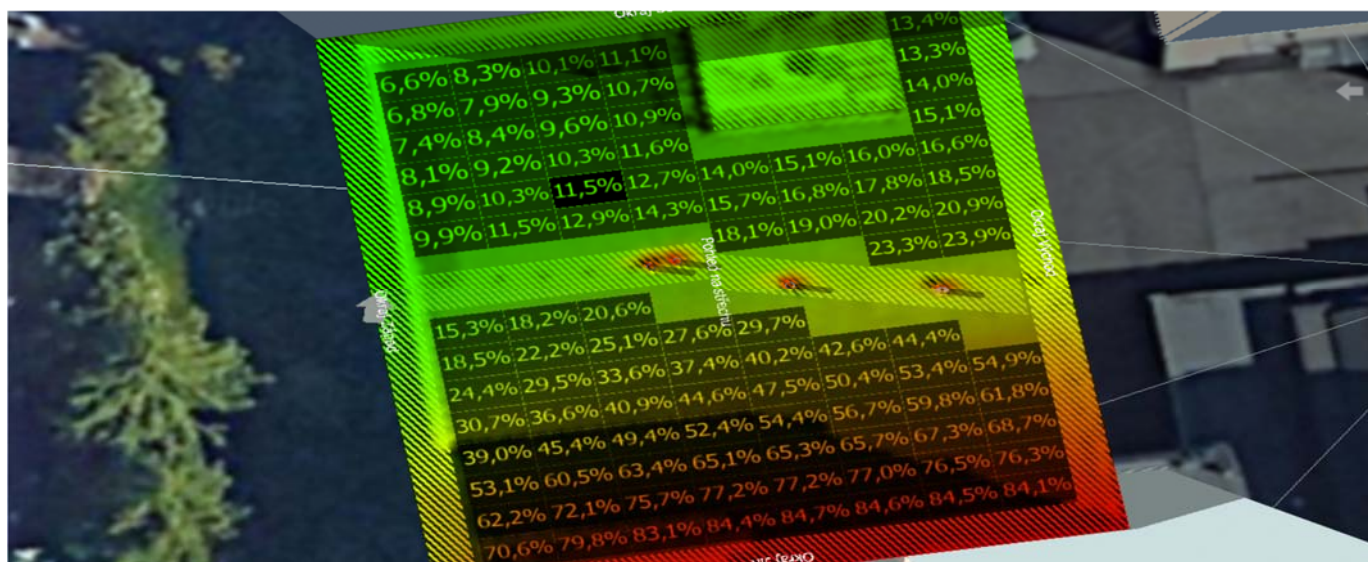
Obr. 89.: Průběh zastínění v létě odpoledne (1.6. 15:20)

8.2. Základní rozvaha efektivního využití komplexu B + C +D

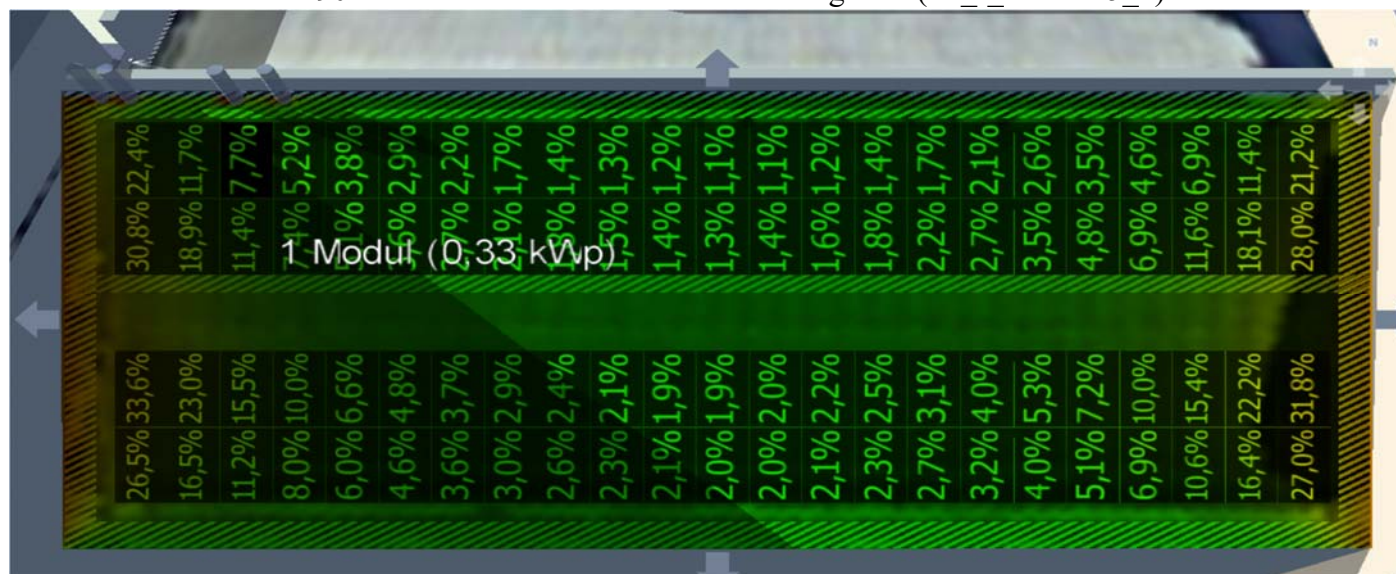
Pro energetické účely je možné efektivně využít několika variant různých ploch. Jako minimalistické řešení, které by zároveň snadno mohlo posloužit jako pilotní projekt, se nabízí využití pouze střech objektu A. Pro tento případ se nabízí dvě různé alternativy montáže na konstrukci. Další variantou je využití jedné, dvou nebo všech tří budov C s orientací modulů východ/západ a jih. Poslední možností je využití jižní střechy budovy B včetně navazující rovné ploché střechy.

Nejjednodušším řešením (uvažovaným i v obou předchozích studiích) je rovnoběžná montáž modulů přímo na plochu střechy ateliéru. Tato varianta byla popsána v kapitole o komplexu F a nebude vzhledem k nevýhodným vlastnostem dále vůbec uvažována. Vzhledem ke členitosti stínů, které tvoří zejména různé postupné stíny od navzájem sousedících objektů a případně kolmé stíny od vikýřů na některých střechách, je nutné porovnat obě orientace modulů (na výšku i na šířku). Opět, tak jako v textu o komplexu F, je nezbytné dodržení všech bezpečnostních vzdáleností (od světlíků, hromosvodů a krajů střechy). Vzhledem ke členitosti těchto střech se někdy může jevit jako dobrá varianta nainstalovat modul „mimo řadu“. Kromě zjevné neestetičnosti tohoto řešení může docházet ke komplikacím s návrhem montážní konstrukce. V následujících studiích tato varianta není nikde uvažována, mohla by však poněkud zlepšit využitelnost jednotlivých ploch. Jedná se však o jednotky panelů, jejichž přínos je vzhledem k celkové spotřebě objektu zcela nepatrný. Toto řešení nedoporučuji, stejně jako kombinaci modulů horizontálních a vertikálních.

Obr. 90 a 91 porovnávají rozdíl vlivu zastínění stejně orientovaných modulů na různých střechách.



Obr. 90.: Vliv zastínění na horizontální konfiguraci (tul_f_varianta5_1)



Obr. 91.: Vliv zastínění na jižní čelní střechě B (tul_bcd_varianta1_1)

8.3. Přehled variant simulací komplexu B + C + D

- tul_bcd_varianta1_1: 40,87 kWp, střecha B, vertikálně, konstrukce jih, 335 Wp
- tul_bcd_varianta2_1: 20,77 kWp, střecha B, konstrukce jih, 335 Wp
- tul_bcd_varianta3_1: 19,77 kWp, střecha C, jih, 335 Wp
- tul_bcd_varianta4_2: 44,56 kWp, střecha C, východ, západ, vertikálně, 335 Wp
- tul_bcd_varianta4_2: 49,25 kWp, střecha C, východ, západ, horizontálně, 335 Wp
- tul_bcd_varianta4_3: 62,31 kWp, střecha C obě budovy, východ, západ, horizontálně, 335 Wp
- tul_bcd_varianta5_1: 18,43 kWp, střecha A, konstrukce jih, 335 Wp
- tul_bcd_varianta5_2: 24,12 kWp, střecha A, konstrukce východ - západ, 335 Wp

8.4. Studie realizovatelnosti FVE za stávajícího stavu komplexu B + C + D

Stávající dispozice střech značně komplikují jejich efektivní využití pro potřeby FVE. Vzhledem k této členitosti nevychází dobře varianty s velkými moduly (535 Wp), proto ani nejsou v následujícím přehledu uvedeny.

Oproti komplexu F vychází jednotlivé varianty s přibližně polovičním instalovaným výkonem. Přes relativně velké plochy je to dáno jejich značnou roztržitostí a zejména velkými a početnými vikýři. Tato skutečnost ani nedovoluje podstatné úpravy jednotlivých ploch jako v případě komplexu F. Je tedy nutné vycházet pouze ze stávající dispozice a FVE optimalizovat na danou situaci.

Střechy budovy C lze využít jak z východní a západní, tak i jižní strany (tul_bcd_varianta3_1, tul_bcd_varianta4_1, tul_bcd_varianta4_2, tul_bcd_varianta4_3). Instalovaný výkon se pohybuje mezi 19,77 – 62,31 kWp. Instalaci může komplikovat výška a dispozice střechy, ale v zásadě platí vše, co bylo uvedeno v textu o komplexu F. Z hlediska výtěžnosti vychází lépe jižní strana střechy, z hlediska instalovaného výkonu je výhodnější varianta východ – západ (44,56 – 62,31 kWp).

Budova B nabízí poněkud jednodušší instalaci kvůli snadnému přístupu (tul_bcd_varianta1_1, tul_bcd_varianta1_2). Instalovaný výkon se pohybuje jen mezi 20,77 – 40,87 kWp ale s největším specifickým ročním výnosem (až 1005,53 kWh/kWp). Pro lepší využití plochy se nabízí skloněná konstrukce s panely v jedné nebo dvou řadách na ploché střeše. Na jižní střeše vychází dobře jednoduchá plochá montáž. Tato varianta by se dala dobře použít pro účely malého pilotního projektu. U varianty se dvěma řadami se musí provést statické posouzení střechy zvláště důkladně (velký klopný moment konstrukce od severu).

Budova A nabízí poměrně jednoduchou montáž na přístupné ploché střeše pomocí skloněné konstrukce na jih (tul_bcd_varianta5_1) nebo na konstrukci východ – západ (tul_bcd_varianta5_2). Varianta východ – západ nabízí poněkud větší instalovaný výkon (24,12 kWp) ale s menším specifickým ročním výnosem (841,73 kWh/kWp) a delší dobou návratnosti (6,3 roku). Obě varianty jsou však vzhledem k dosažitelnému výkonu vhodné pouze jako doplnění jiné varianty nebo jako malý pilotní projekt pro získání zkušeností.

8.5. Simulace FVE za stávajícího stavu komplexu B + C + D

Souhrnné srovnání jednotlivých variant popsanych výše je v Tab. 6. Pro lepší orientaci jsou v Tab. 7 shrnuty základní technické parametry jednotlivých variant. Doporučené varianty jsou zvýrazněny šedou barvou.

Největší specifický výnos 1005,53 kWh/kWp nabízí tul_bcd_varianta1_1 se 40,87 kWp v konfiguraci 122 x 335 Wp modulů umístěných na ploché střeše budovy B na skloněné konstrukci s úhlem 34° orientované podle okraje střechy a na jižní šikmé střeše téže budovy. Tento systém také slibuje největší návratnost investice (IRR – Internal Rate of Return) 18,91 % a nejkratší dobu návratnosti (PP – Payback Period) 5,3 roku. Nevýhoda této varianty je však relativně malý instalovaný výkon daný malou plochou střechy. Dalším problémem může být velké namáhání konstrukce střechy větrem. Skloněná konstrukce je velice citlivá zejména na zadní vítr, který vyvolává klopný moment kolem přední části konstrukce. A právě na tento moment musí být střecha dimenzována, respektive staticky posouzena. Naopak velká výhoda této varianty je výhodná montáž střídačů pod stříšku západní věžičky.

Všechny varianty jsou přibližně poloviční oproti variantám na budovách F a tudíž velice malé v porovnání se spotřebou objektů. Platí tedy to, co bylo řečeno již v textu o komplexu F, že do velikosti přibližně 200 kWp nebude mít FVE prakticky žádné přetoky. Ve srovnání s celkovou spotřebou se jedná o zanedbatelné množství pro všechny varianty, které by se (podobně jako v komplexu F) nevyplatilo řešit bateriovým systémem.

varianta	instalovaný výkon	roční výroba	spec. roční výnos	PR	vnitřní míra návratnosti	doba návratnosti	roční přetoky
	kWp	kWh	kWh/kWp	%	%	roky	kWh

tul_bcd_vari- anta1_1	40,87	41160	1005,53	80,3	18,91	5,3	116
tul_bcd_vari- anta2_1	20,77	19343	930,84	74,2	17,51	5,7	60
tul_bcd_vari- anta3_1	19,77	18806	951,01	76,7	17,87	5,6	54
tul_bcd_vari- anta4_1	44,56	38034	852,89	85,7	16,03	6,2	106
tul_bcd_vari- anta4_2	49,25	42214	856,53	86,9	16,10	6,2	120
tul_bcd_vari- anta4_3	62,31	52541	842,53	85,7	15,83	6,3	148
tul_bcd_vari- anta5_1	18,43	17031	923,83	74,7	17,39	5,7	56
tul_bcd_vari- anta5_2	24,12	20347	841,73	79,1	15,82	6,3	64

Tab. 6.: Srovnání variant FVE pro komplex B + C + D

varianta	popis
tul_bcd_vari- anta1_1	122 x 335 Wp, B jih + konstrukce jih
tul_bcd_vari- anta2_1	62 x 335 Wp, B konstrukce jih
tul_bcd_vari- anta3_1	59 x 335 Wp, C jih
tul_bcd_vari- anta4_1	133 x 335 Wp vertikálně, C východ, západ
tul_bcd_vari- anta4_2	147 x 335 Wp horizontálně, C východ, západ
tul_bcd_vari- anta4_3	186 x 335 Wp horizontálně, C východ, západ, obě budovy
tul_bcd_vari- anta5_1	55 x 335 Wp, A jih + konstrukce jih
tul_bcd_vari- anta5_2	72 x 335 Wp, A konstrukce východ - západ

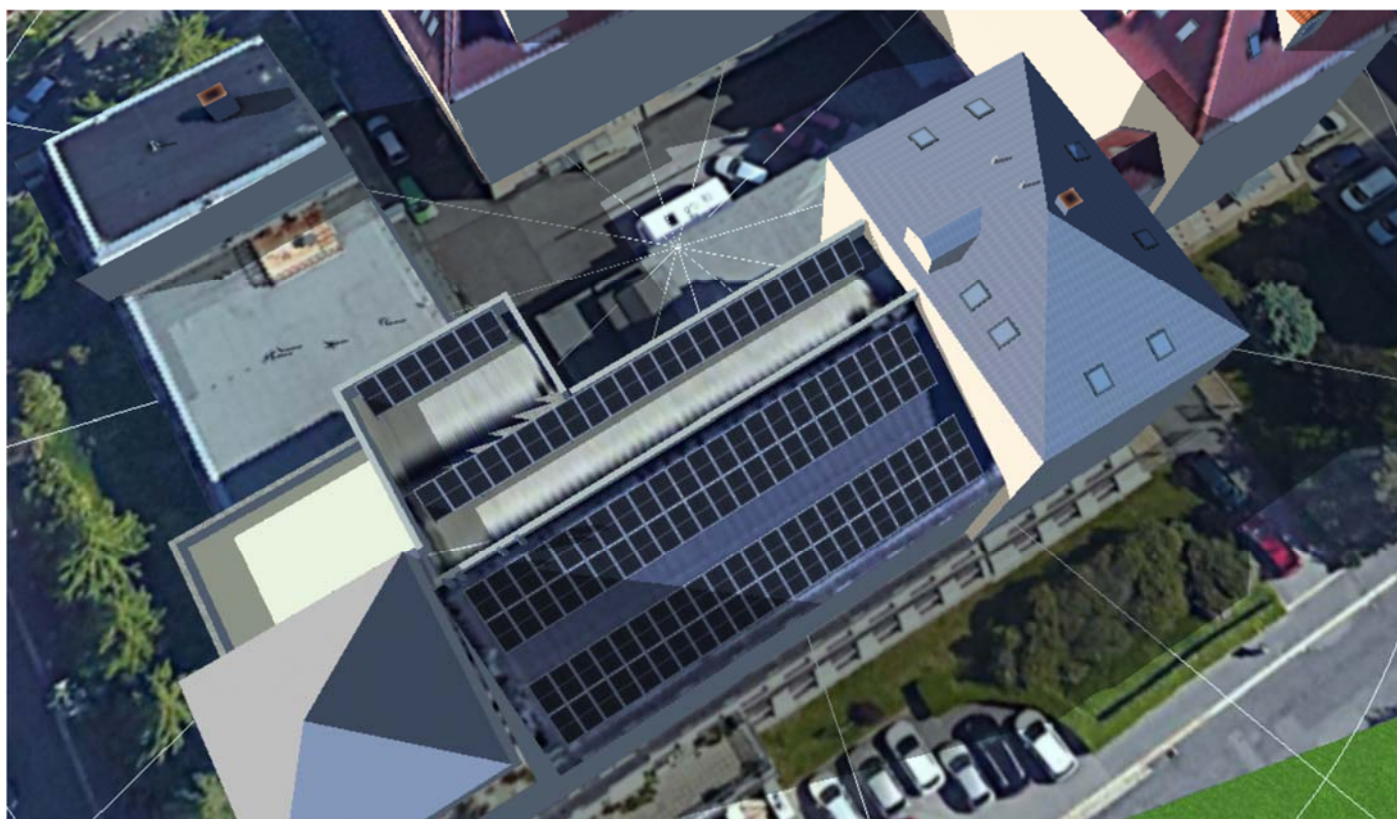
Tab. 7.: Technické parametry FVE pro komplex B + C + D

Doporučené varianty, které jsou v Tab.6 a 7 znázorněny šedou barvou, jsou na následujících stránkách detailně shrnuty. Kromě přehledového pohledu na FVE, základních parametrů a výroby jsou pro každou variantu znázorněny průběhy výroby a její využitelnosti pro krytí vlastní spotřeby. Vzhledem ke specifickému charakteru spotřeby jsou znázorněny týdenní diagramy pro jaro, léto, podzim i zimu. Z hlediska efektivnosti systému jsou důležité zejména intervaly s minimální spotřebou (víkendy a léto).

Po posouzení jednotlivých hledisek se jeví jako nejlepší varianta tul_bcd_vari-anta1_1 s instalovaným výkonem 40,87 kWp. Toto řešení má vysoký stupeň využití PR (80,3 %) a největší specifický roční výnos 1005,53 kWh/kWp. Jedná se o skloněnou konstrukci na jih, a panely montované přímo na plochu jižní střechy. Dispoziční řešení slibuje i dobrý přístup k FVE pro případný servis a údržbu.

Jednotlivé dílčí varianty jsou představeny na Obr. 92 – 121. Detaily je možné dohledat v příložených studiích pro jednotlivé projekty.

8.5.1. Varianta 1: 40,87 kWp (tul_bcd_varianta1_1)

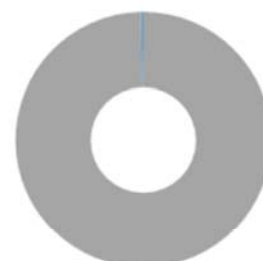


Obr. 92.: Přehled instalace (tul_bcd_varianta1_1)

FV systém

Instalovaný výkon	40,87 kWp
Spec. Roční výnos	1 005,53 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	80,30 %
Snížení výnosu zastíněním	11,6 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	41 160 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	41 044 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	116 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	19 315 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

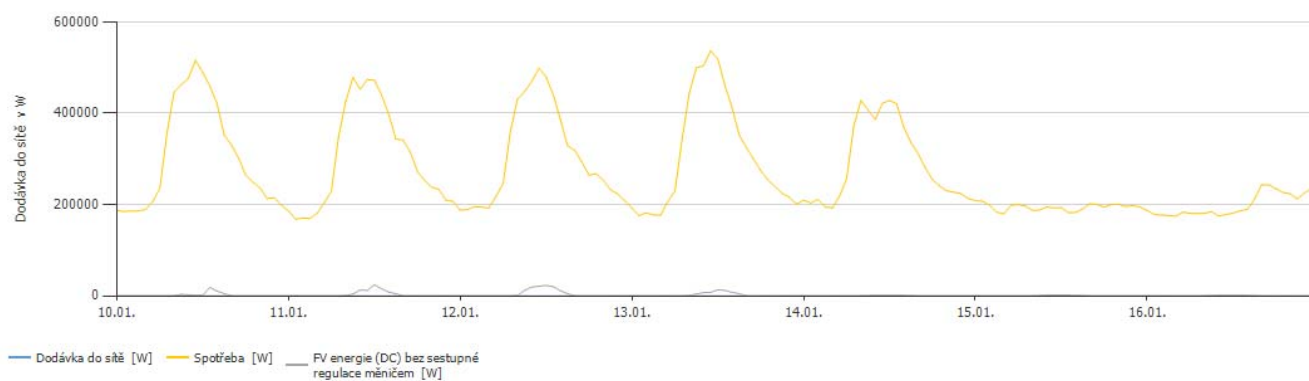
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	65 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 479 kWh/Rok
pokryto FVS	41 044 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 999 434 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	2,0 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

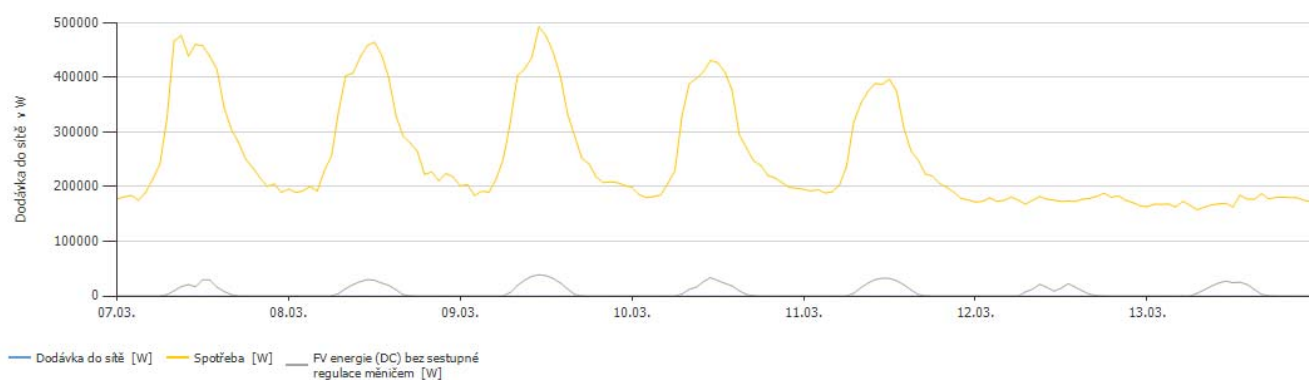


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

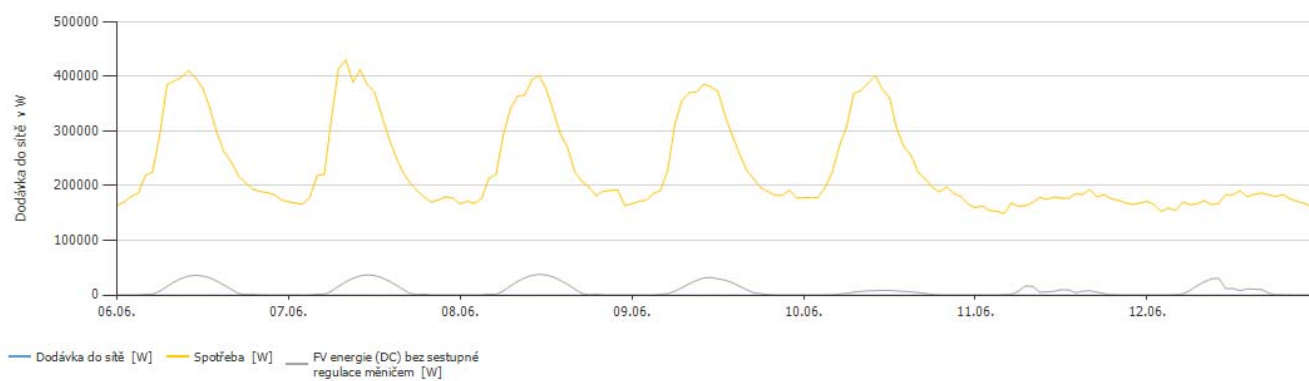
Obr. 93.: Výsledky simulace (tul_bcd_varianta1_1)



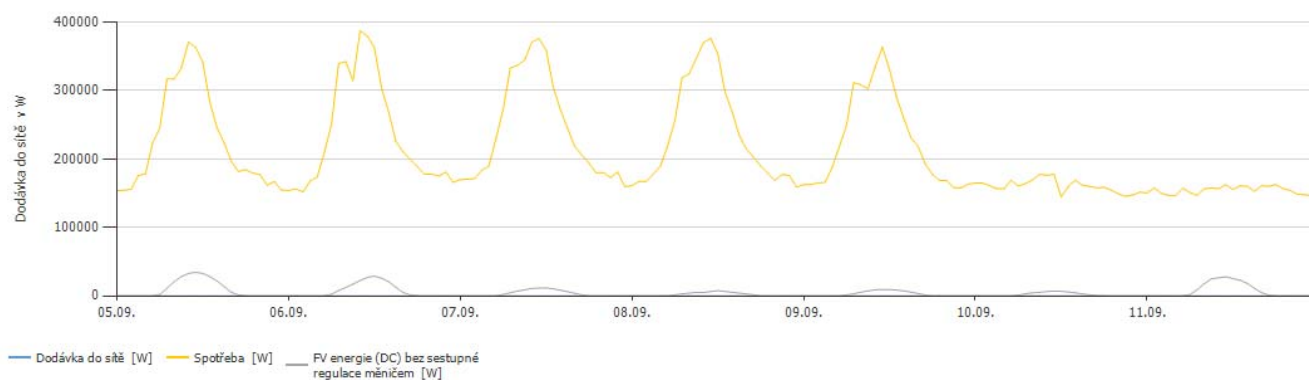
Obr. 94.: Výroba v zimě (tul_bcd_varianta1_1)



Obr. 95.: Výroba na jaře (tul_bcd_varianta1_1)



Obr. 96.: Výroba v létě (tul_bcd_varianta1_1)



Obr. 97.: Výroba na podzim (tul_bcd_varianta1_1)

8.5.2. Varianta 2: 20,77 kWp (tul_bcd_varianta2_1)



Obr. 98.: Přehled instalace (tul_bcd_varianta2_1)

FV systém

Instalovaný výkon	20,77 kWp
Spec. Roční výnos	930,84 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	74,20 %
Snížení výnosu zastíněním	18,7 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	19 343 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	19 283 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	60 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	9 087 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)

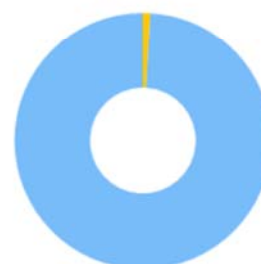


■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

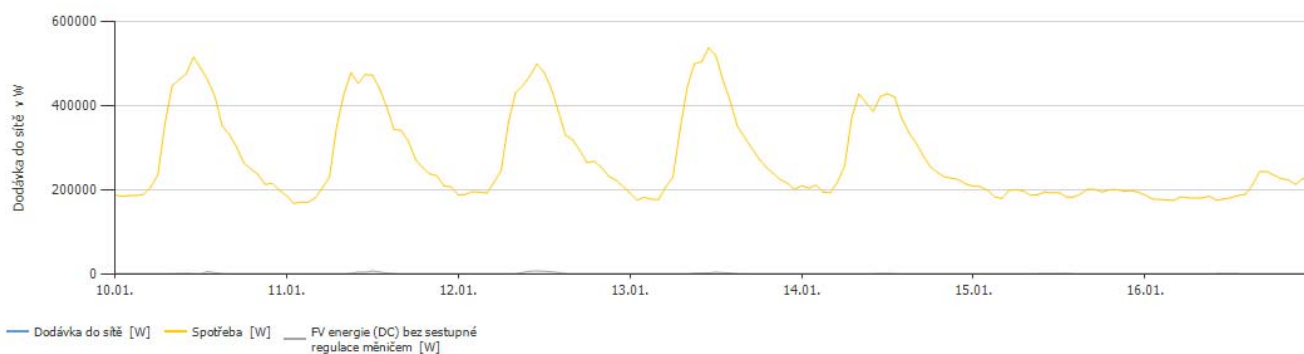
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	9 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 423 kWh/Rok
pokryto FVS	19 283 kWh/Rok
pokryto ze sítě	2 021 141 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	0,9 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

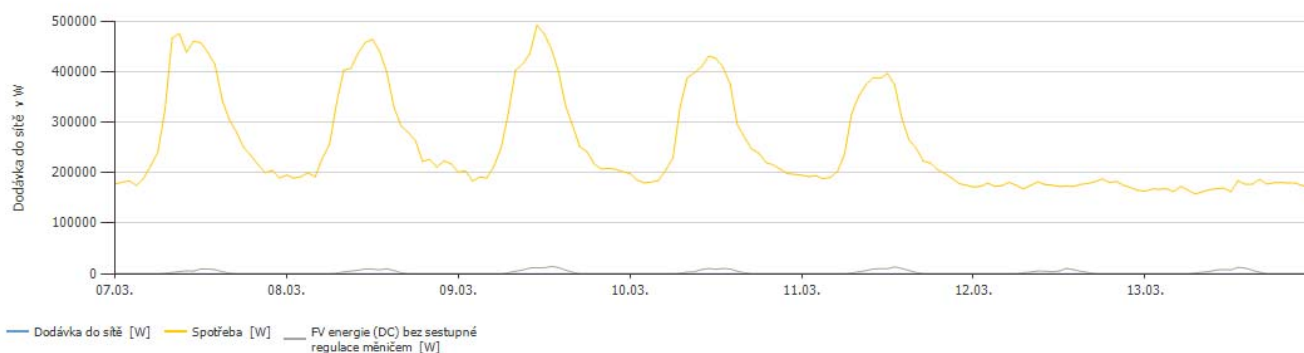


■ pokryto FVS ■ pokryto ze sítě

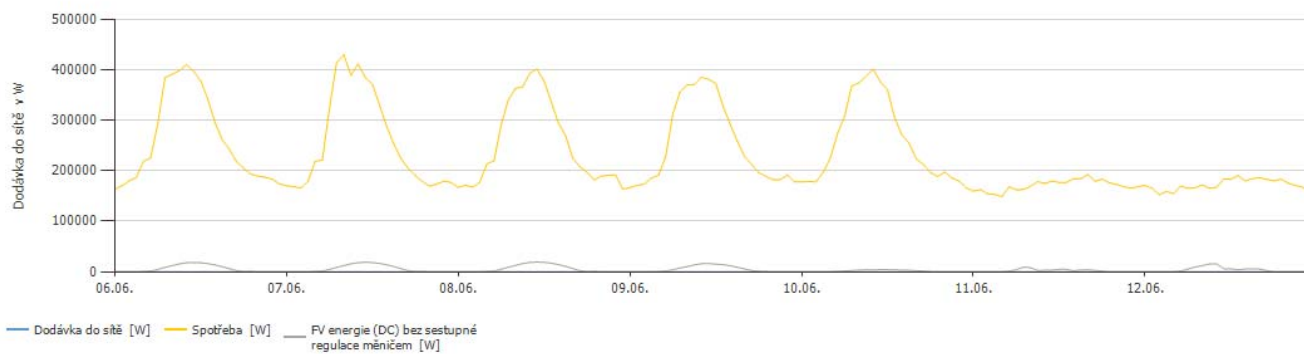
Obr. 99.: Výsledky simulace (tul_bcd_varianta2_1)



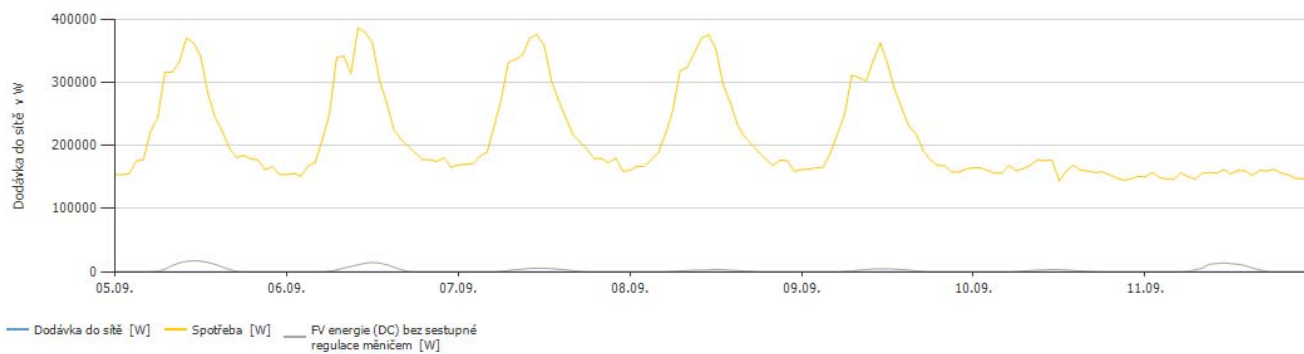
Obr. 100.: Výroba v zimě (tul_bcd_varianta2_1)



Obr. 101.: Výroba na jaře (tul_bcd_varianta2_1)

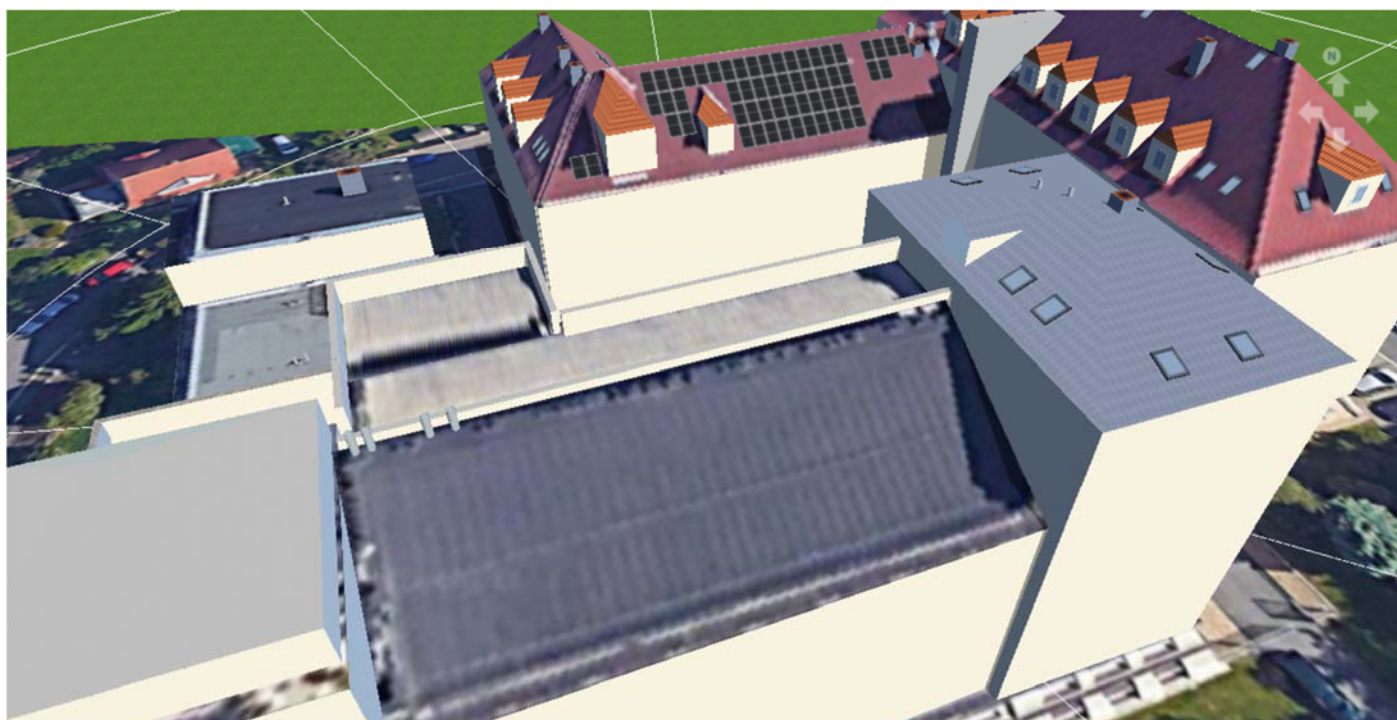


Obr. 102.: Výroba v létě (tul_bcd_varianta2_1)



Obr. 103.: Výroba na podzim (tul_bcd_varianta2_1)

8.5.3. Varianta 3: 19,77 kWp (tul_bcd_varianta3_1)



Obr. 104.: Přehled instalace (tul_bcd_varianta3_1)

FV systém

Instalovaný výkon	19,77 kWp
Spec. Roční výnos	951,01 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	76,69 %
Snížení výnosu zastíněním	16,8 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	18 806 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	18 751 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	54 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	8 834 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

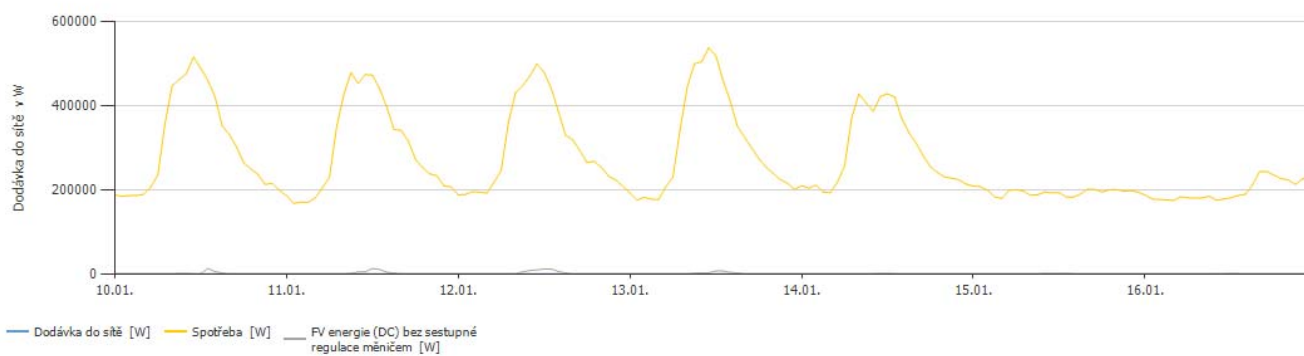
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	9 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 423 kWh/Rok
pokryto FVS	18 751 kWh/Rok
pokryto ze sítě	2 021 672 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	0,9 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

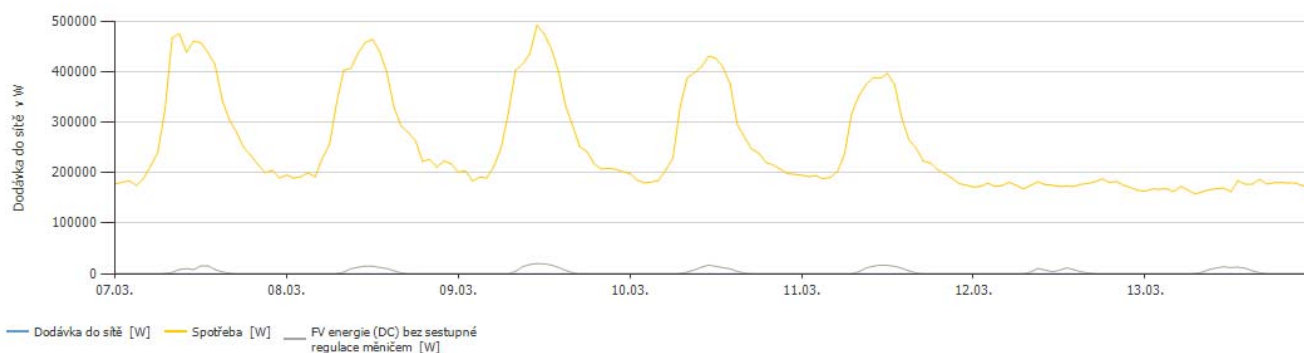


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

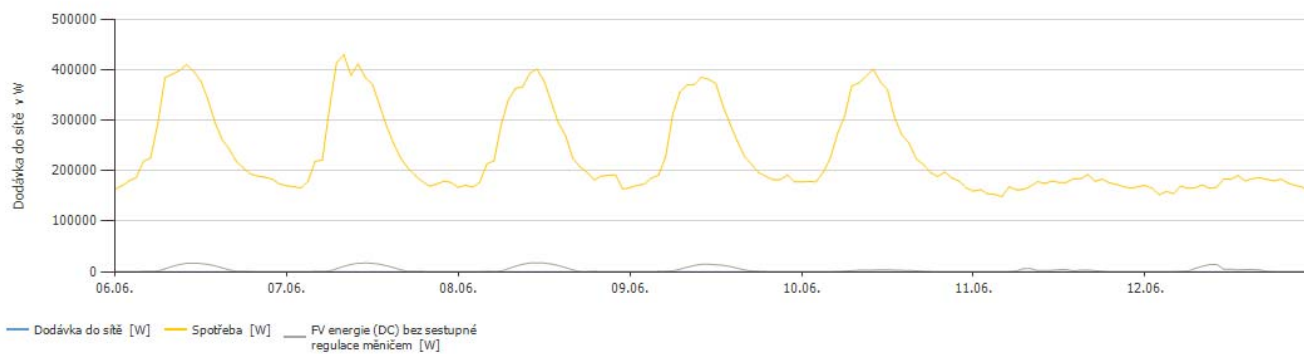
Obr. 105.: Výsledky simulace (tul_bcd_varianta3_1)



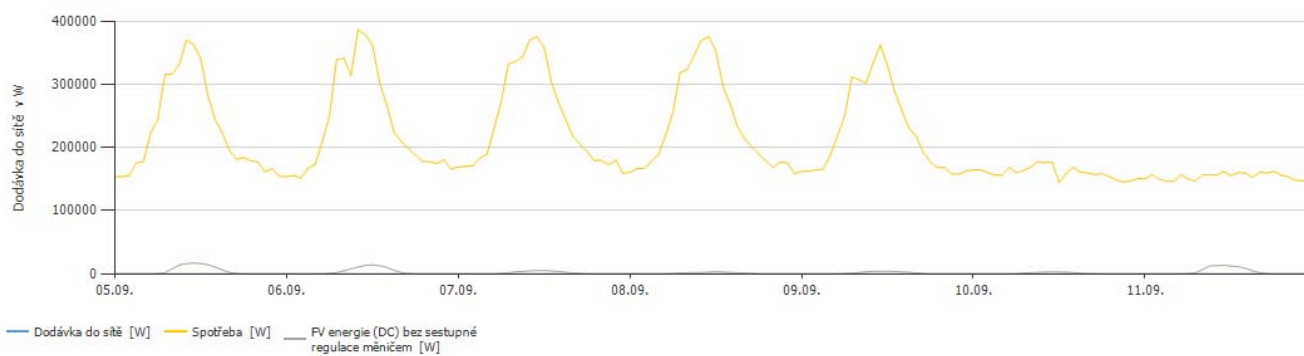
Obr. 106.: Výroba v zimě (tul_bcd_varianta3_1)



Obr. 107.: Výroba na jaře (tul_bcd_varianta3_1)



Obr. 108.: Výroba v létě (tul_bcd_varianta3_1)



Obr. 109.: Výroba na podzim (tul_bcd_varianta3_1)

8.5.4. Varianta 4: 49,25 kWp (tul_bcd_varianta4_2a)



Obr. 110.: Přehled instalace (tul_bcd_varianta4_2a)

FV systém

Instalovaný výkon	49,25 kWp
Spec. Roční výnos	856,53 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	86,87 %
Snížení výnosu zastíněním	4,0 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	42 214 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	42 094 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	120 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	19 825 kg/rok

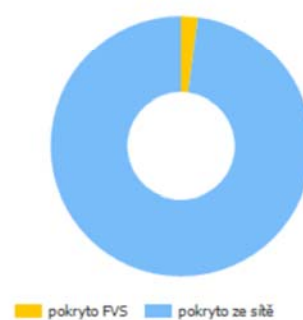
Energetický výnos FVS (AC síť)



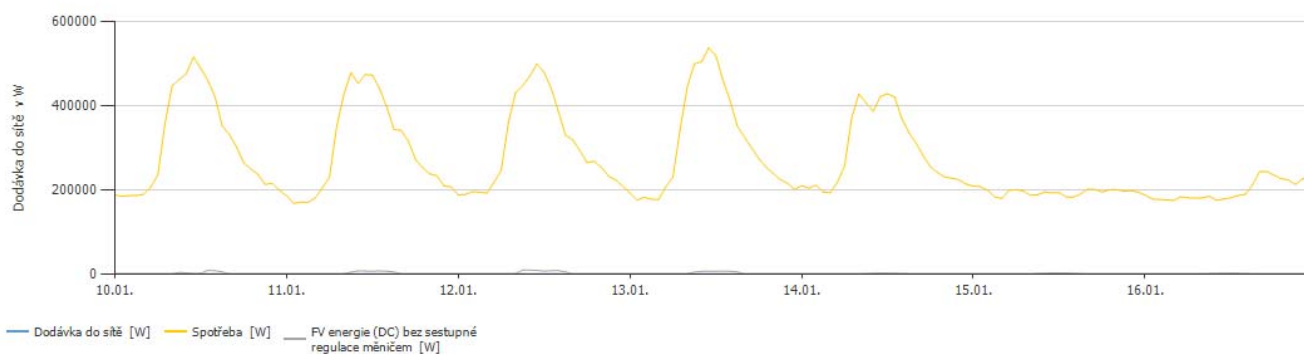
Spotřebiče

Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	34 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 448 kWh/Rok
pokryto FVS	42 094 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 998 355 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	2,1 %

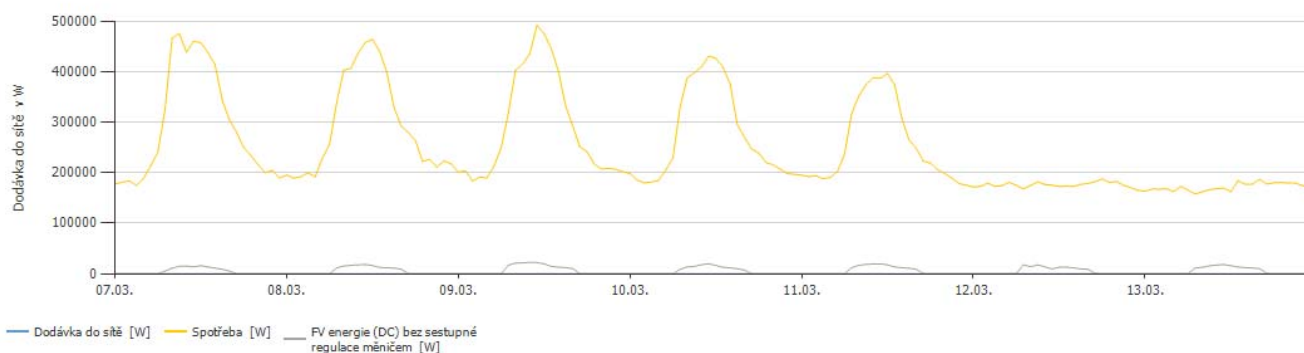
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby



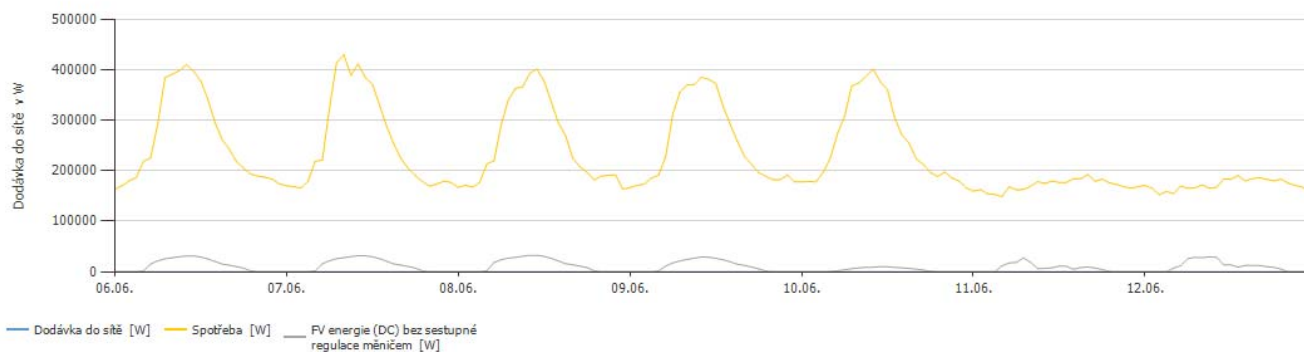
Obr. 111.: Výsledky simulace (tul_bcd_varianta4_2a)



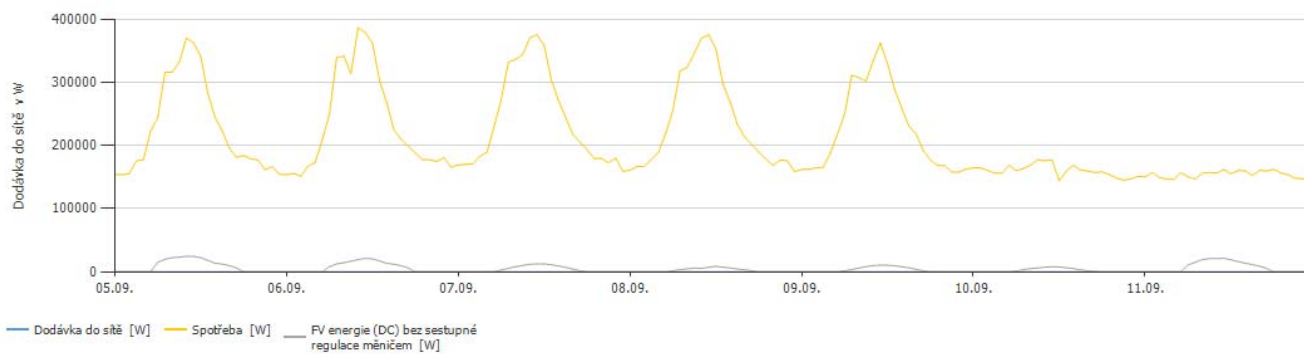
Obr. 112.: Výroba v zimě (tul_bcd_varianta4_2a)



Obr. 113.: Výroba na jaře (tul_bcd_varianta4_2a)



Obr. 114.: Výroba v létě (tul_bcd_varianta4_2a)



Obr. 115.: Výroba na podzim (tul_bcd_varianta4_2a)

8.5.5. Varianta 1: 97,82 kWp (tul_bcd_varianta5_2)

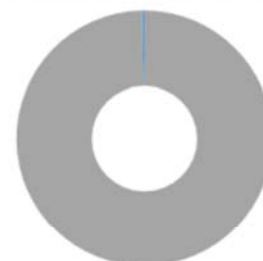


Obr. 116.: Přehled instalace (tul_bcd_varianta5_2)

FV systém

Instalovaný výkon	24,12 kWp
Spec. Roční výnos	841,73 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	79,09 %
Snížení výnosu zastíněním	14,0 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	20 347 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	20 284 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	64 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	9 542 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

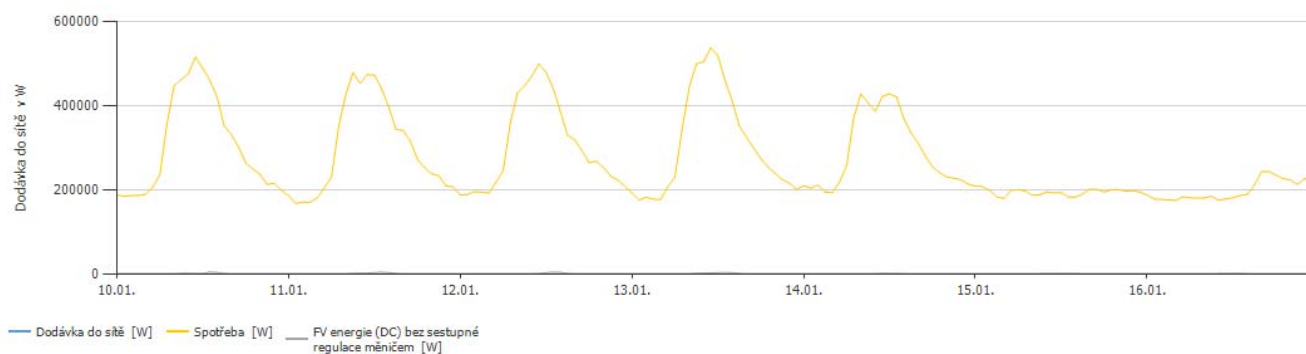
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	45 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 459 kWh/Rok
pokryto FVS	20 284 kWh/Rok
pokryto ze sítě	2 020 175 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	1,0 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

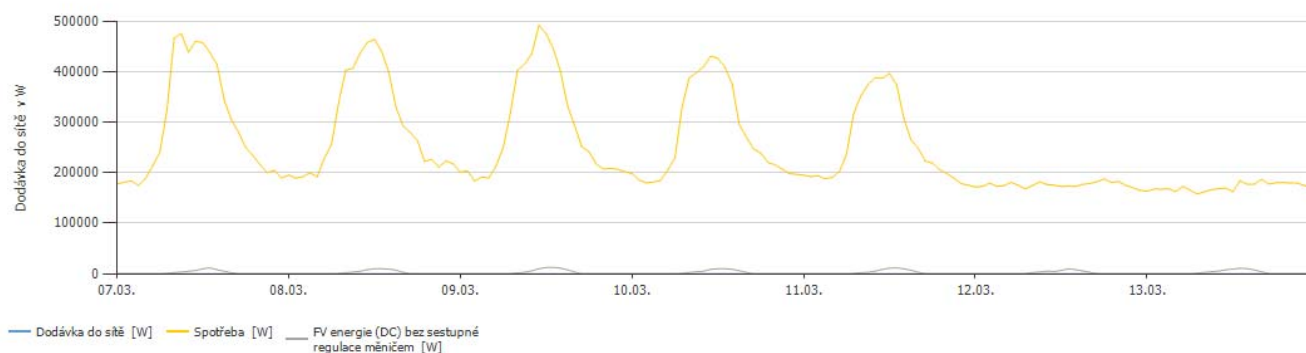


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

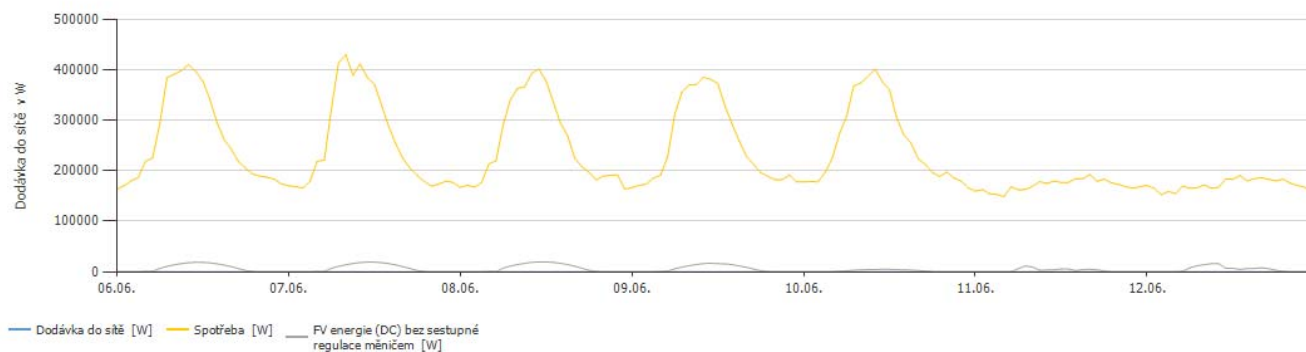
Obr. 117.: Výsledky simulace (tul_bcd_varianta5_2)



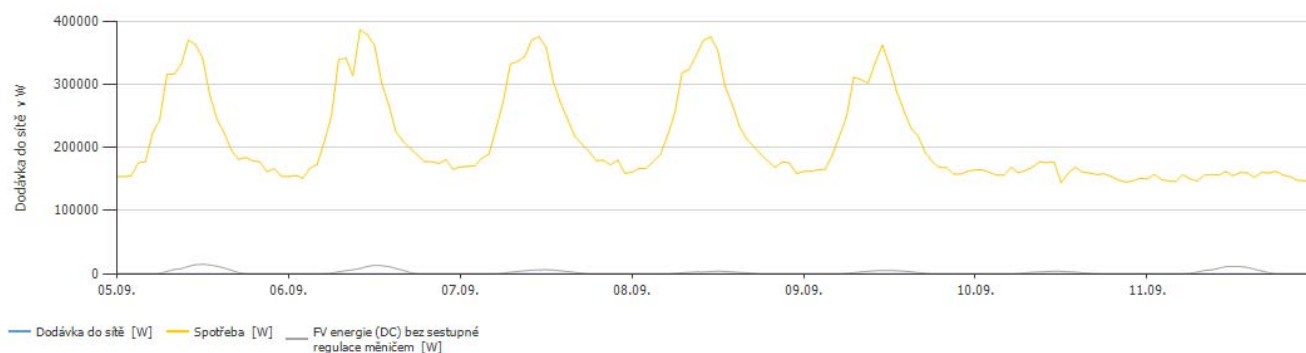
Obr. 118.: Výroba v zimě (tul_bcd_varianta5_2)



Obr. 119.: Výroba na jaře (tul_bcd_varianta5_2)



Obr. 120.: Výroba v létě (tul_bcd_varianta5_2)



Obr. 121.: Výroba na podzim (tul_bcd_varianta5_2)

8.6. Návrh úprav pro lepší využitelnosti komplexu B + C + D

Vzhledem ke složitosti střech a celkové velikosti instalovaného výkonu se nevyplatí žádné složité zásahy do stávající dispozice. Drobnou výjimkou jsou ploché střechy objektů A, které jsou (podobně jako v případě komplexu F) nepříznivě rozděleny stávajícími instalacemi LPS. Pro efektivnější využití vysoké střechy zadní budovy A doporučuji zejména zcela rekonstruovat hromosvody. To platí i pro navazující nízkou střechu se zahrádkou. Použitím nových jímačů a HVI vodičů by se poněkud zvětšila využitelná plocha, ale zlepšení by bylo v řádu jednotek panelů a přínos je vzhledem k celkové spotřebě diskutabilní. Je to však jediná úprava, která by byla relativně jednoduše proveditelná. Je však třeba provést analýzu rizik a následný výpočet celé soustavy LPS.

9. Komplex budov G – základní rozvaha

Komplex budov G se skládá z 1 samostatné dlouhé budovy orientované kratší stranou na jihovýchod (se stejným úhlem jako komplex F).

Budova G tvoří půdorys obdélníku s několika nepravidelnostmi (schodišťový objekt, nadstavba...) a pro energetické využití nabízí velké vodorovné plochy střech. Střechy obsahují pouze několik rušivých prvků a jsou pro účely stavby FVE ideální.

9.1. Analýza zastínění komplexu G

Na Obr. 122 - 124 je patrný průběh stínu v zimním období (1.1.) mezi východem a západem slunce (8:10 – 15:20). Jedná se o dobu blízkou zimnímu slunovratu s nejkratší dobou slunečního svitu. Ploché střechy budovy G nejsou celý den prakticky ničím stíněny. Sousedící budova F3 se částečně projeví těsně před západem slunce, ale tento vliv v průběhu dalších měsíců rychle mizí a celkově zanedbatelný. Detailní vliv různých prvků na jednotlivých střechách je popsán dále.

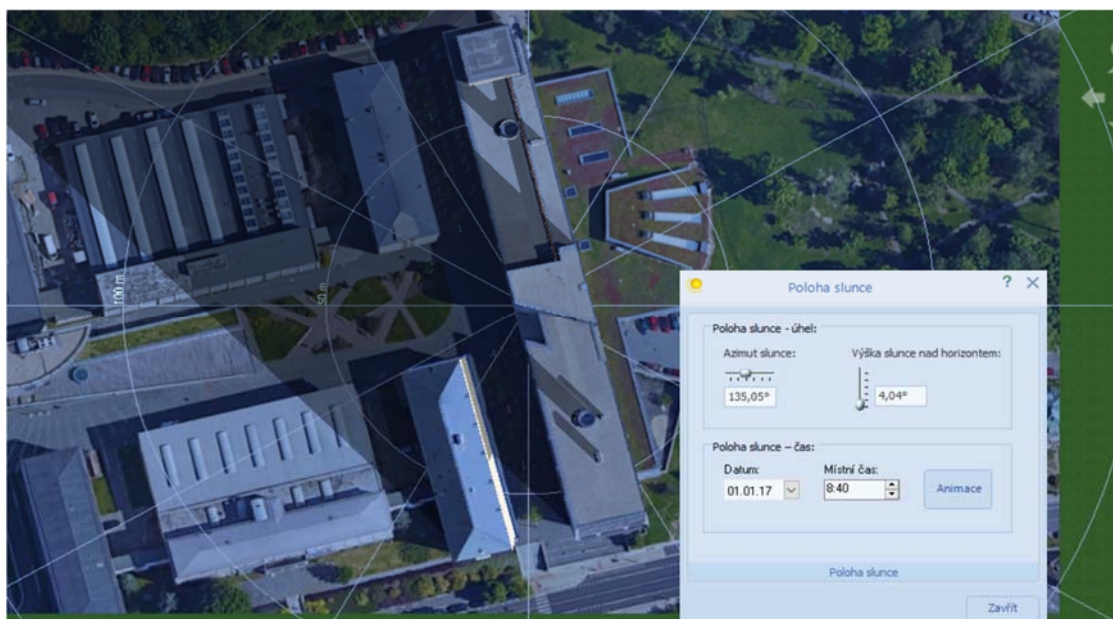
Severní střecha je částečně (v přední části) zastíněna vlastní nástavbou, ze simulace je ale patrné rychlé zkracování stínu, prodlužování doby svitu a zvětšování nezastíněné plochy v následujících měsících.

Jak je patrné z Obr. 125 - 128, od počátku astronomického jara se střecha budovy G dostává z vlivu drobného zastínění od budovy F3 a může být velice efektivně využita pro FV systém. I vliv stínu nástavby uprostřed budovy se zmenšuje.

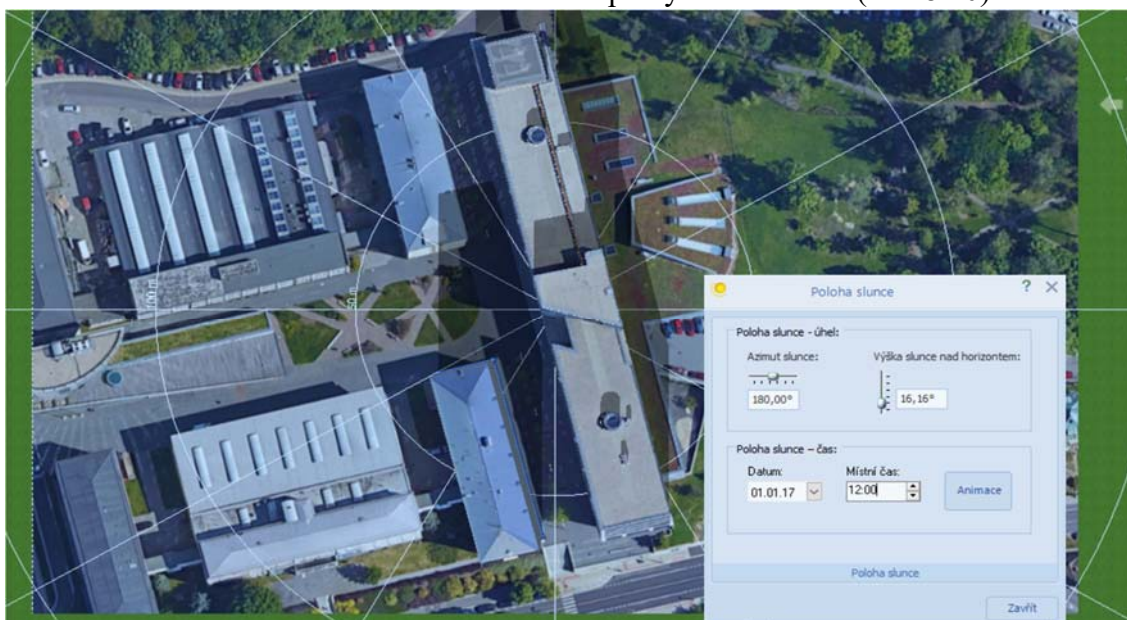
Obr. 129 - 132 dokazují, že vliv stínů v letním období je na ploché střeše budovy G minimální a střecha je využitelná prakticky po celý den.

Průběh stínů ve druhé polovině roku je analogický znázorněným průběhům.

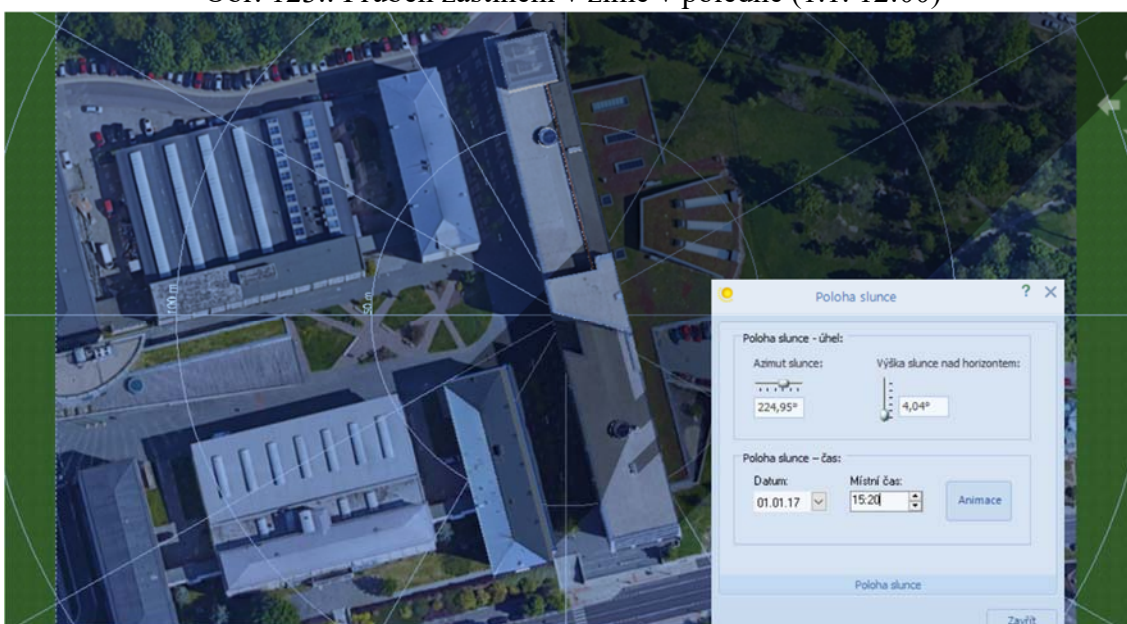
9.1.1. Průběh zastínění v zimě



Obr. 122.: Průběh zastínění v zimě po východu slunce (1.1. 8:10)

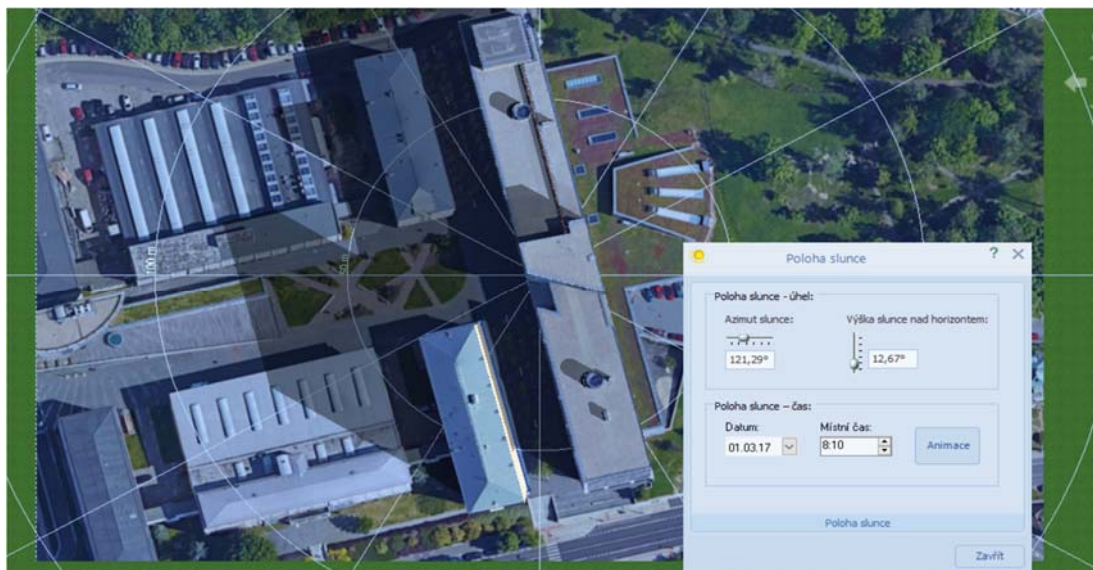


Obr. 123.: Průběh zastínění v zimě v poledne (1.1. 12:00)

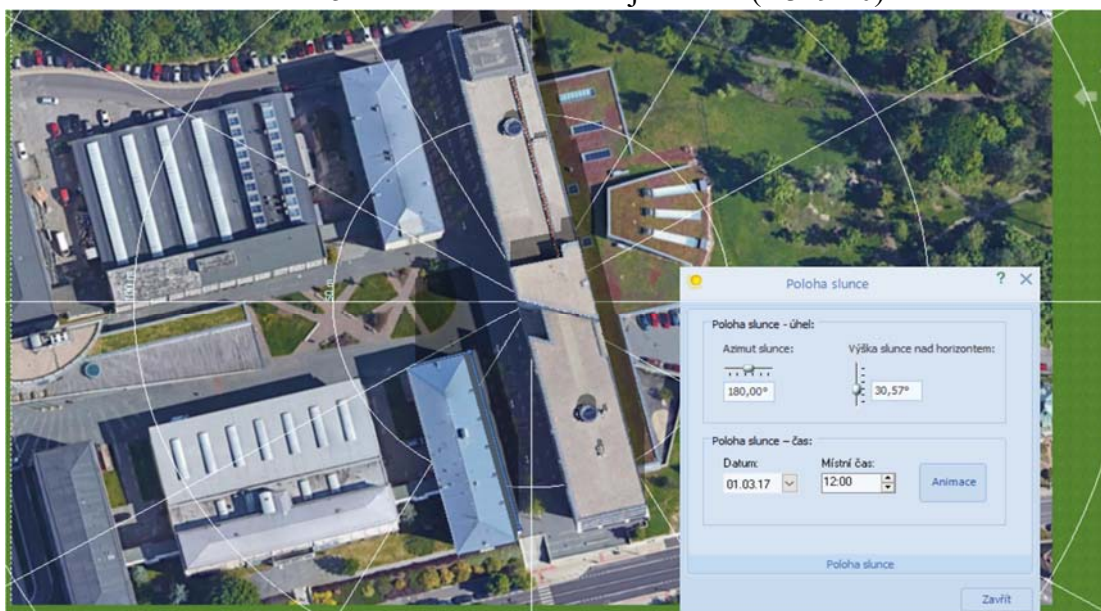


Obr. 124.: Průběh zastínění v zimě před západem slunce (1.1. 15:20)

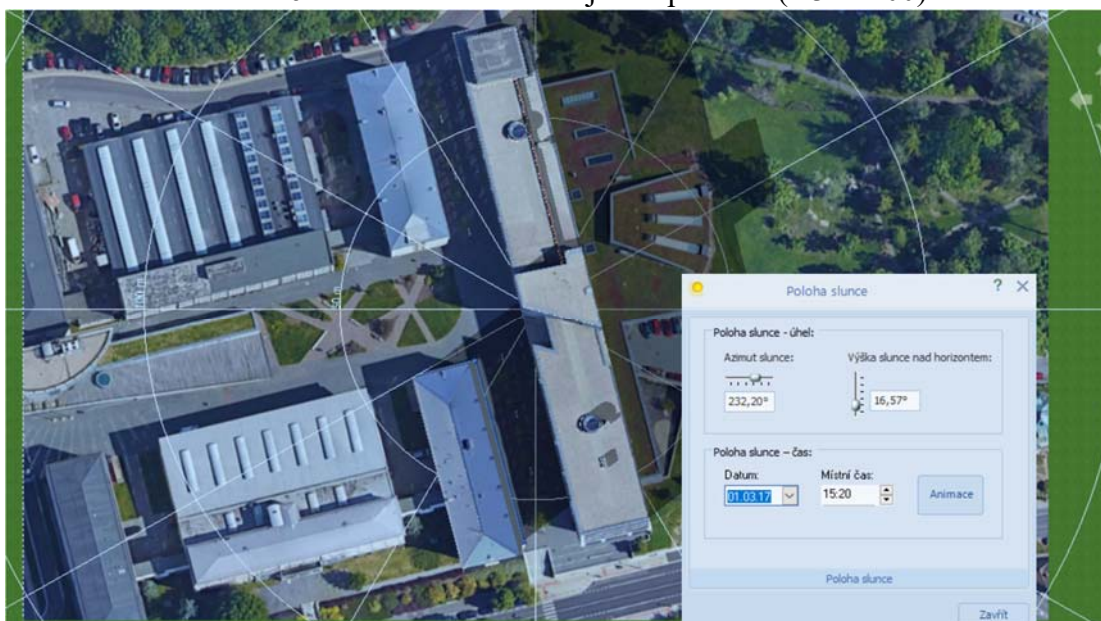
9.1.2. Průběh zastínění na jaře



Obr. 125.: Průběh zastínění na jaře ráno (1.3. 9:10)

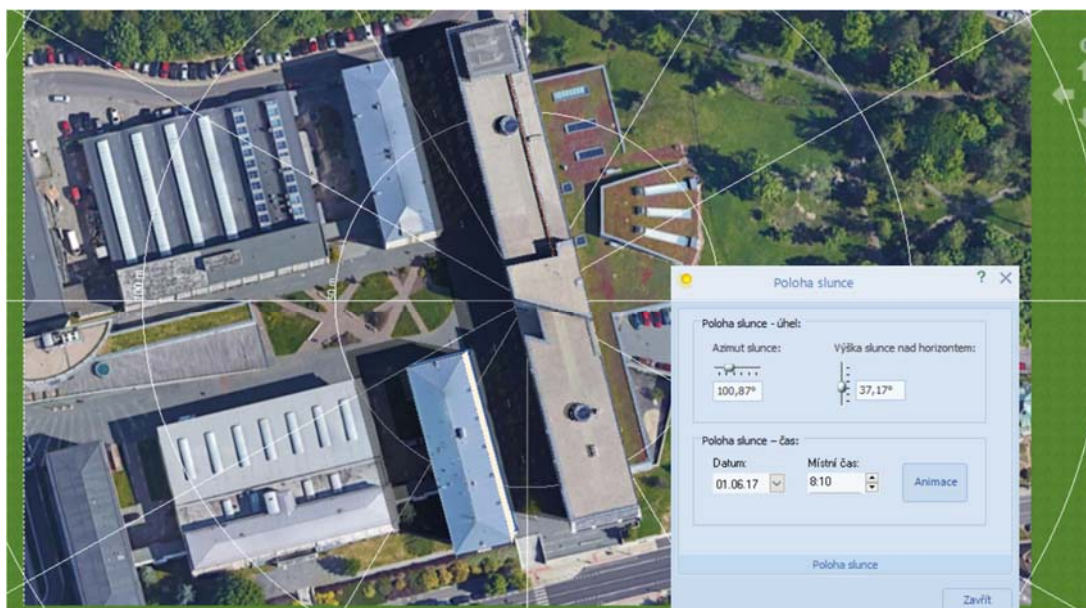


Obr. 126.: Průběh zastínění na jaře v poledne (1.3. 12:00)

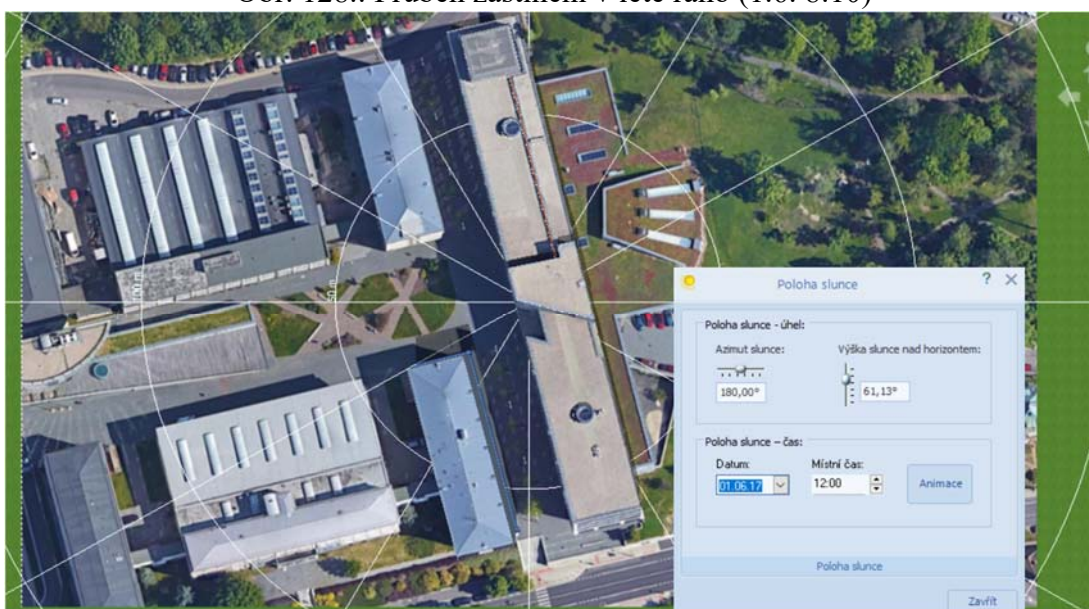


Obr. 127.: Průběh zastínění na jaře odpoledne (1.3. 15:20)

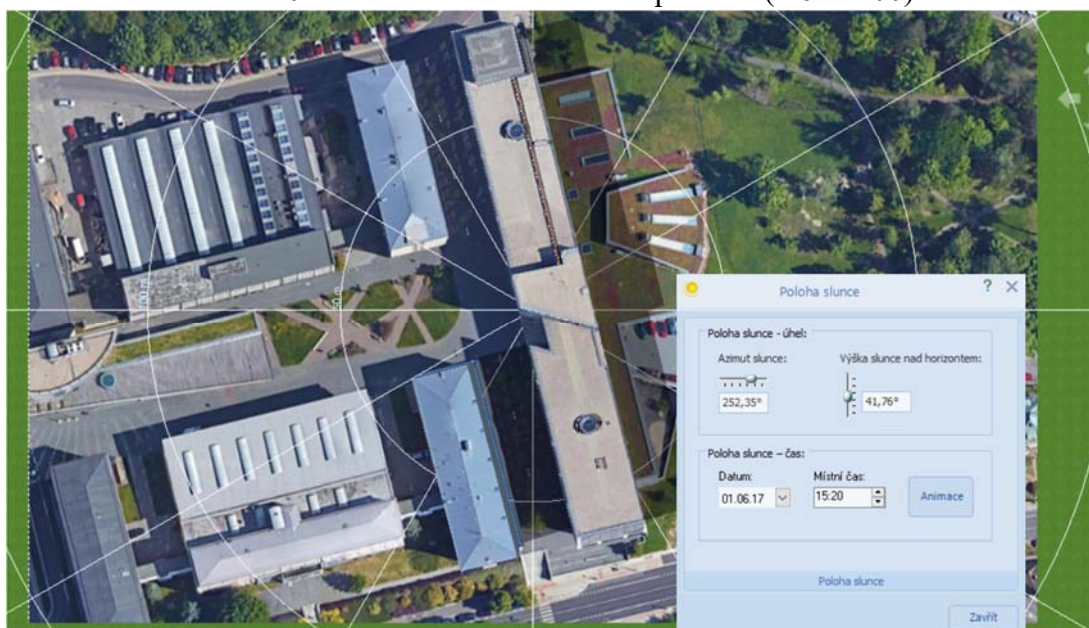
9.1.3. Průběh zastínění v létě



Obr. 128.: Průběh zastínění v létě ráno (1.6. 8:10)



Obr. 129.: Průběh zastínění v létě v poledne (1.6. 12:00)



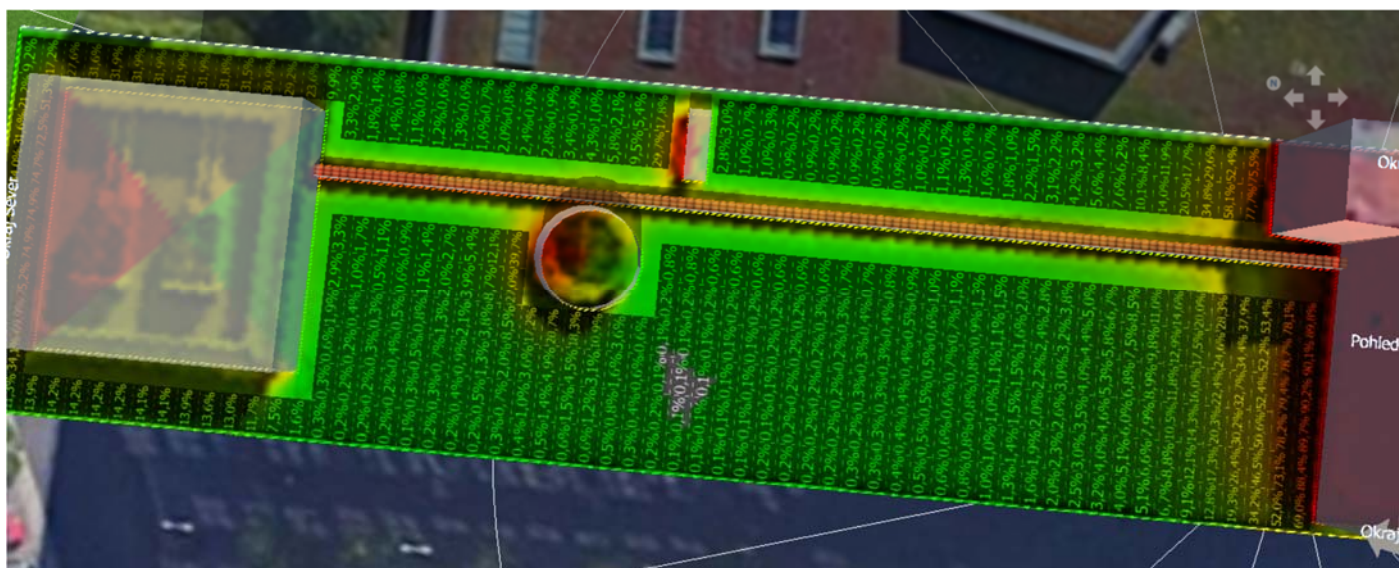
Obr. 130.: Průběh zastínění v létě odpoledne (1.6. 15:20)

9.2. Základní rozvaha efektivního využití komplexu G

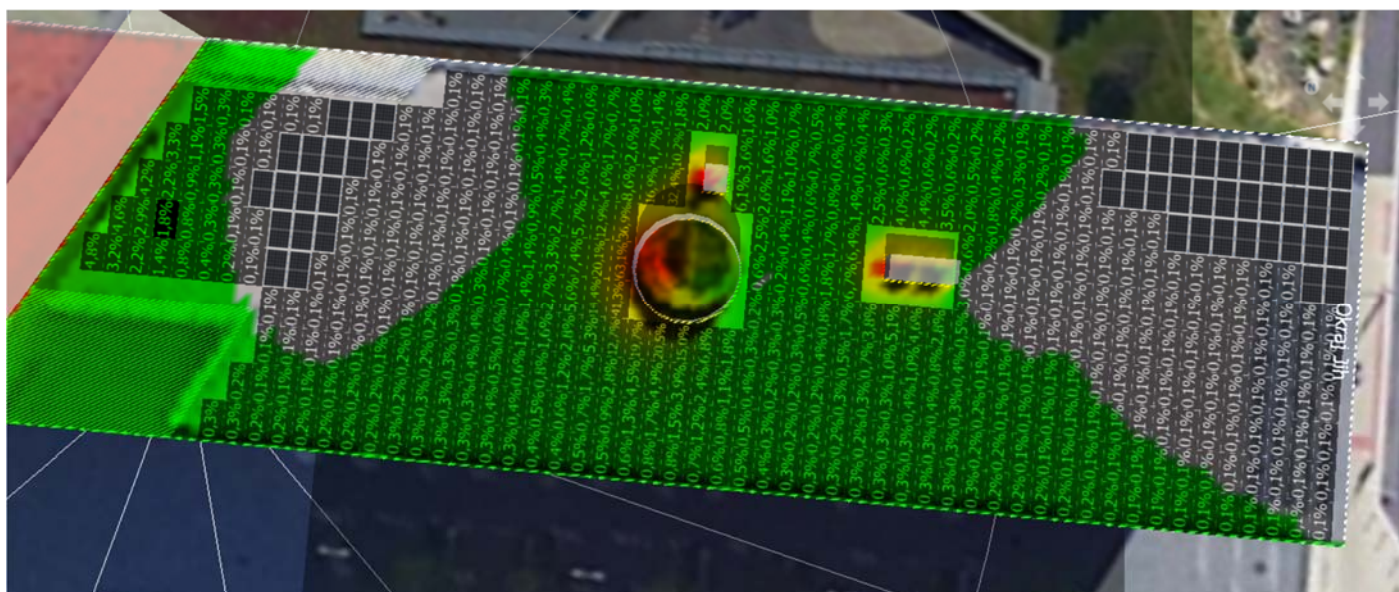
Pro energetické účely je možné efektivně využít několika variant konstrukcí na ploché střeše. Jako minimalistické řešení, které by zároveň snadno mohlo posloužit jako pilotní projekt, se nabízí využití pouze jižní střechy. Pro tento případ se nabízí dvě různé alternativy montáže na konstrukci. Další variantou je využití jižní i severní části střechy (opět 2 možnosti konstrukcí). Poslední možností je využití ještě střechy nástavby.

Nejjednodušším řešením (uvažovaným i v obou předchozích studiích) je rovnoběžná montáž modulů přímo na plochu střechy ateliéru. Tato varianta byla popsána v kapitole o komplexu F a nebude vzhledem k nevýhodným vlastnostem dále vůbec uvažována. Vzhledem k minimální členitosti stínů není příliš nutné řešit orientaci modulů (na výšku i na šířku). A vzhledem k velikosti a pravidelnosti plochy doporučuji použití větších panelů (např. 535 Wp).

Obr. 131 a 132 porovnávají rozdíl vlivu zastínění stejně orientovaných modulů na plochých střechách komplexu G.



Obr. 131.: Vliv zastínění na severní střechě G (tul_g_varianta1_1)



Obr. 132.: Vliv zastínění na jižní čelní střechě G (tul_g_varianta1_1)

9.3. Přehled variant simulací komplexu G

- tul_g_varianta1_1: 128,40 kWp, střecha G, 240 x 535 Wp, konstrukce východ – západ
- tul_g_varianta2_1: 80,07 kWp, střecha G, 239 x 535 Wp, konstrukce jih
- tul_g_varianta3_1: 216,14 kWp, střecha G, 404 x 535 Wp, konstrukce východ - západ
- tul_g_varianta4_1: 137,69 kWp, střecha G, 411 x 535 Wp, konstrukce jih
- tul_g_varianta5_1: 235,91 kWp, střecha G, 463 x 535 Wp, konstrukce východ - západ, konstrukce jih

9.4. Studie realizovatelnosti FVE za stávajícího stavu komplexu G

Stávající dispozice střech je na rozdíl od předchozích případů (F, B+C+D) pro potřeby FVE přímo ideální. Vzhledem k minimální členitosti vychází dobře varianty s velkými moduly (535 Wp), proto ani nejsou v následujícím přehledu uvedeny menší panely jako v předchozích kapitolách (335 Wp).

Oproti komplexu F vychází jednotlivé varianty s přibližně dvojnásobným instalovaným výkonem. Je jasná zřejmá výhoda velkých volných nezastíněných ploch. Tato skutečnost ani nevyžaduje podstatné úpravy jednotlivých ploch jako v případě komplexu F. Je tedy možné vycházet pouze ze stávající dispozice a FVE optimalizovat na danou situaci.

Střechy budovy G lze využít jak z přední (jižní), tak zadní (severní) části budovy (tul_g_varianta1_1, tul_g_varianta2_1, tul_g_varianta3_1, tul_g_varianta4_1,). Instalovaný výkon se pohybuje mezi 80,07 – 216,14 kWp. Instalaci je jednoduchá vzhledem k dispozici střechy a její přístupnosti. V podstatě ale platí vše, co bylo uvedeno v textu o komplexu F. Z hlediska výtečnosti vychází lépe jižní strana střechy osazená konstrukcí sklopenou na jih (1002,58 kWh/kWp), z hlediska instalovaného výkonu je výhodnější varianta východ – západ (128,40 – 216,14 kWp). Varianta tul_g_varianta1_1 by se dala dobře použít pro účely většího pilotního projektu.

Využití nástavby uprostřed střechy poněkud zvyšuje využitelnou plochu. Opět se nabízí obě varianty konstrukcí. Vzhledem k lepšímu rozložení diagramu výroby doporučuji zkombinovat obě možnosti (tul_g_varianta5_1). Instalovaný výkon potom bude 235,91 kWp a návratnost systému 6,1 roku. U varianty s orientací sklopené konstrukce se musí provést statické posouzení střechy zvlášť důkladně (velký klopný moment konstrukce od severu).

9.5. Simulace FVE za stávajícího stavu komplexu G

Souhrnné srovnání jednotlivých variant popsanych výše je v Tab. 8. Pro lepší orientaci jsou v Tab. 9 shrnuty základní technické parametry jednotlivých variant. Všechny varianty lze doporučit k realizaci.

Největší specifický výnos 1002,58 kWh/kWp nabízí tul_g_varianta2_1 se 80,07 kWp v konfiguraci 239 x 535 Wp modulů umístěných na jižní střeše budovy G na skloněné konstrukci s úhlem 34° orientované podle okraje střechy. Tento systém také slibuje největší návratnost investice (IRR – Internal Rate of Return) 18,91 % a nejkratší dobu návratnosti (PP – Payback Period) 5,3 roku. Nevýhoda této varianty je nejmenší instalovaný výkon v tomto komplexu. Dalším problémem může být velké namáhání konstrukce střechy větrem. Skloněná konstrukce je velice citlivá zejména na zadní vítr, který vyvolává klopný moment kolem přední části konstrukce. A právě na tento moment musí být střecha dimenzována, respektive staticky posouzena.

Všechny varianty jsou přibližně dvojnásobné oproti variantám na budovách F ale stále relativně malé v porovnání se spotřebou objektů. Platí tedy to, co bylo řečeno již v textu o komplexu F, že do velikosti přibližně 200 kWp nebude mít FVE prakticky žádné přetoky. Ve srovnání s celkovou spotřebou se jedná o zanedbatelné množství pro všechny varianty, které by se (podobně jako v komplexu F) nevyplatilo řešit bateriovým systémem.

varianta	instalovaný výkon	roční výroba	spec. roční výnos	PR	vnitřní míra návratnosti	doba návratnosti	roční přetoky
	kWp	kWh	kWh/kWp	%	%	roky	kWh
tul_g_varianta1_1	128,40	116,229	904,21	84,1	17,01	5,8	362
tul_g_varianta2_1	80,07	80308	1002,58	80,2	18,91	5,3	246
tul_g_varianta3_1	216,14	191108	894,11	82,2	16,63	6,0	602
tul_g_varianta4_1	137,69	136669	992,33	79,4	18,71	5,3	448
tul_g_varianta5_1	235,91	204159	865,32	82,6	16,27	6,1	647

Tab. 8.: Srovnání variant FVE pro komplex G

varianta	popis
tul_g_varianta1_1	240 x 535 Wp, konstrukce východ - západ
tul_g_varianta2_1	239 x 535 Wp, konstrukce jih
tul_g_varianta3_1	404 x 535 Wp, konstrukce východ - západ
tul_g_varianta4_1	411 x 535 Wp, konstrukce jih
tul_g_varianta5_1	463 x 535 Wp, konstrukce východ - západ, konstrukce jih

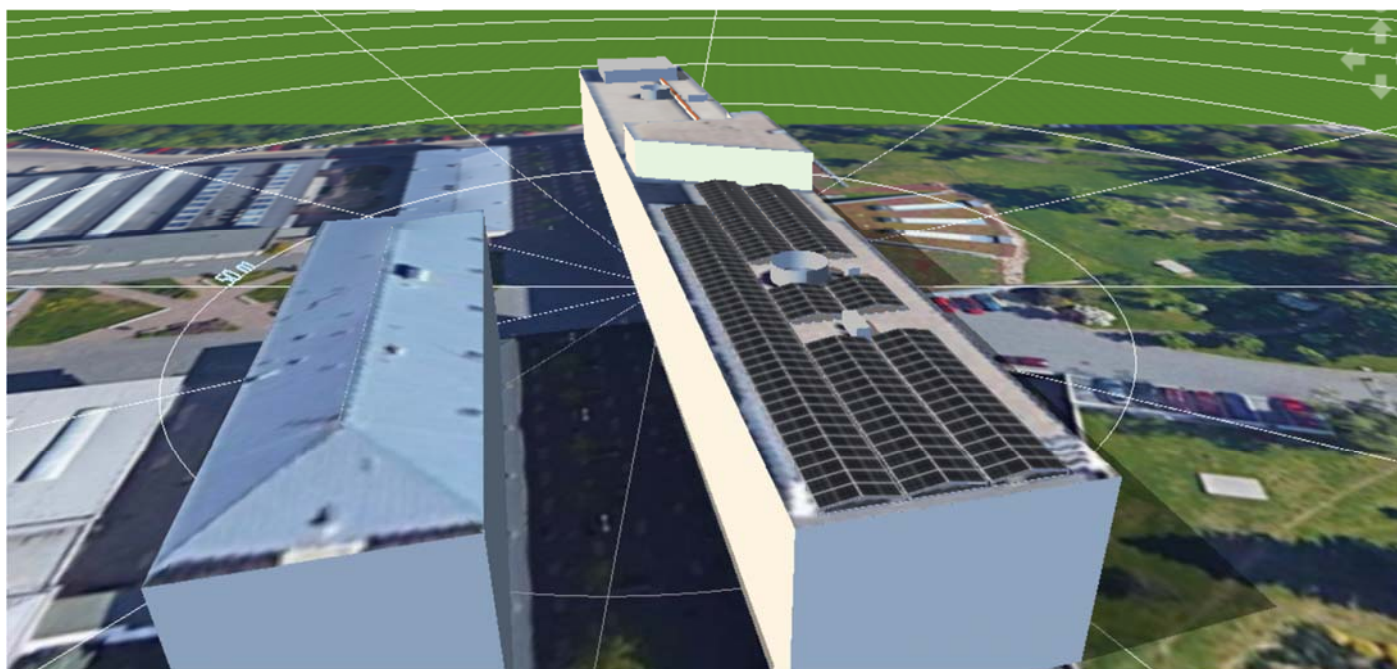
Tab. 9.: Technické parametry FVE pro komplex G

Všechny varianty, které jsou v Tab. 8 a 9 lze doporučit. Na následujících stránkách jsou simulace detailně shrnuty. Kromě přehledového pohledu na FVE, základních parametrů a výroby jsou pro každou variantu znázorněny průběhy výroby a její využitelnosti pro krytí vlastní spotřeby. Vzhledem ke specifickému charakteru spotřeby jsou znázorněny týdenní diagramy pro jaro, léto, podzim i zimu. Z hlediska efektivnosti systému jsou důležité zejména intervaly s minimální spotřebou (víkendy a léto).

Po posouzení jednotlivých hledisek se jeví jako nejlepší varianta tul_bcd_varianta1_1 s instalovaným výkonem 128,40 kWp. Toto řešení má vysoký stupeň využití PR (84,1 %) a vysoký specifický roční výnos 904,21 kWh/kWp. Jedná se o skloněnou konstrukci východ - západ. Dispoziční řešení slibuje i dobrý přístup k FVE pro případný servis a údržbu.

Jednotlivé dílčí varianty jsou představeny na Obr. 133 – 162. Detaily je možné dohledat v příložených studiích pro jednotlivé projekty.

9.5.1. Varianta 1: 128,40 kWp (tul_g_varianta1_1)



Obr. 133.: Přehled instalace (tul_g_varianta1_1)

FV systém

Instalovaný výkon	128,40 kWp
Spec. Roční výnos	904,21 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	84,12 %
Snížení výnosu zastíněním	4,0 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	116 229 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	115 868 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	362 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	54 567 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

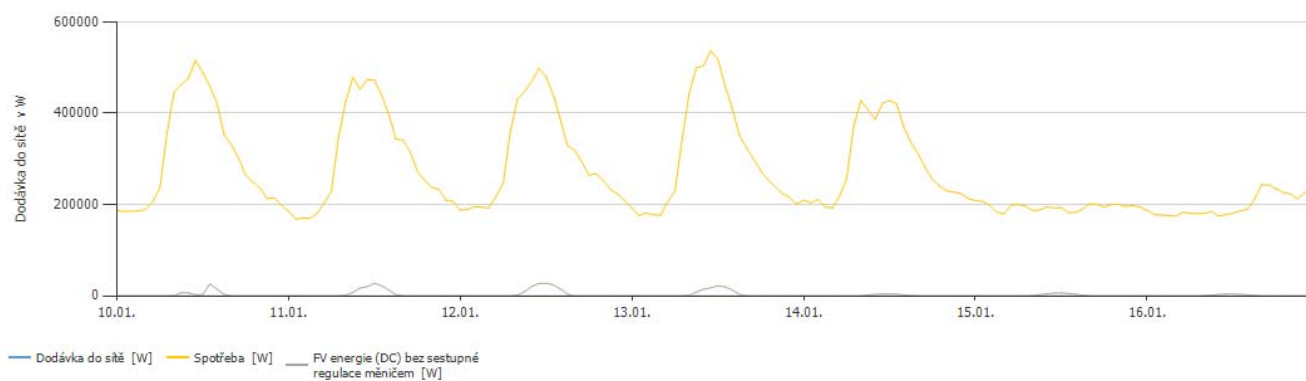
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	129 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 543 kWh/Rok
pokryto FVS	115 868 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 924 675 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	5,7 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

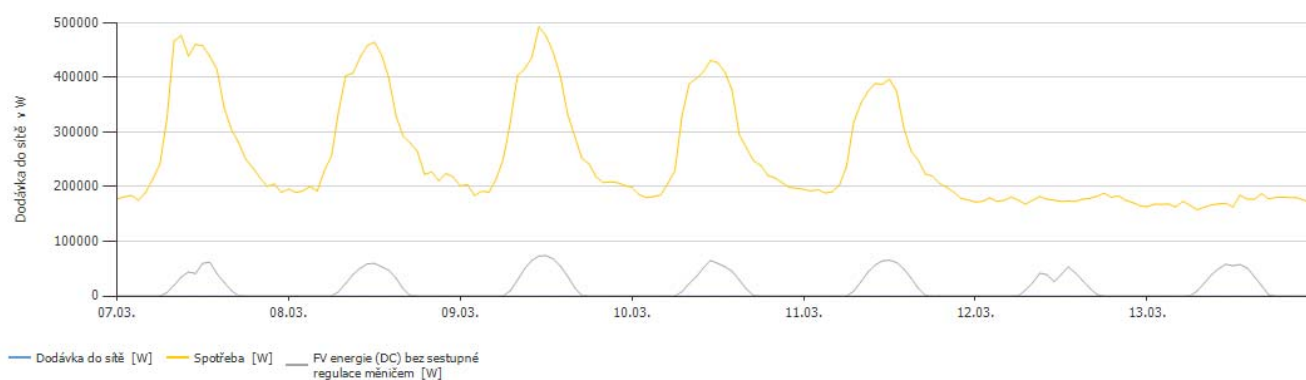


■ pokryto FVS ■ pokryto ze sítě

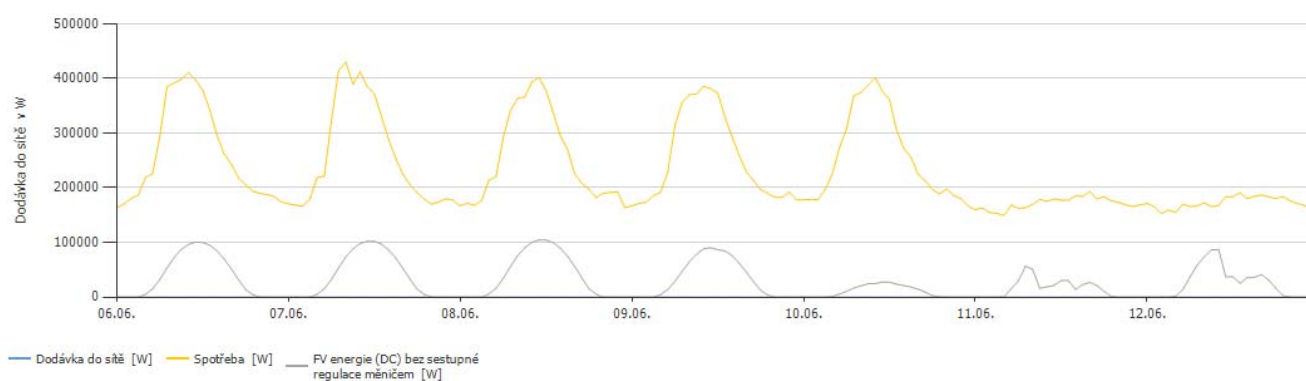
Obr. 134.: Výsledky simulace (tul_g_varianta1_1)



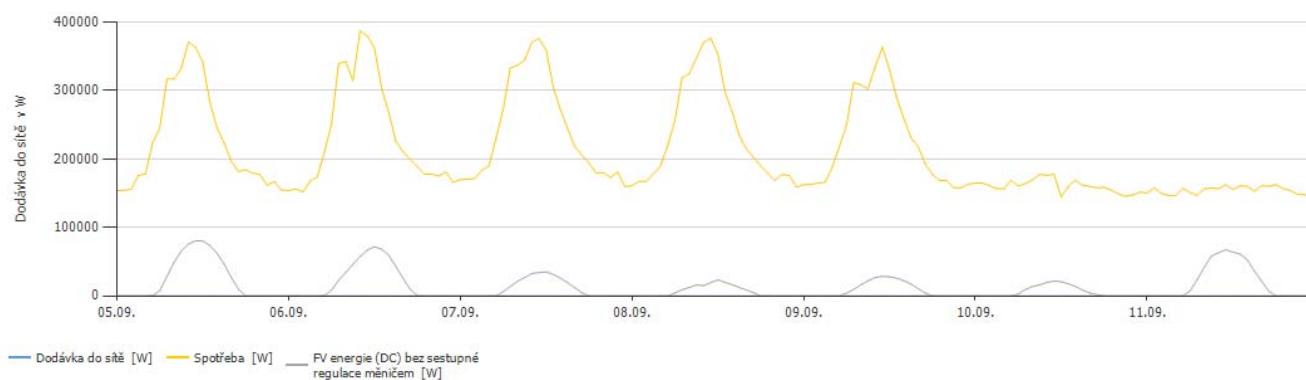
Obr. 135.: Výroba v zimě (tul_g_varianta1_1)



Obr. 136.: Výroba na jaře (tul_g_varianta1_1)

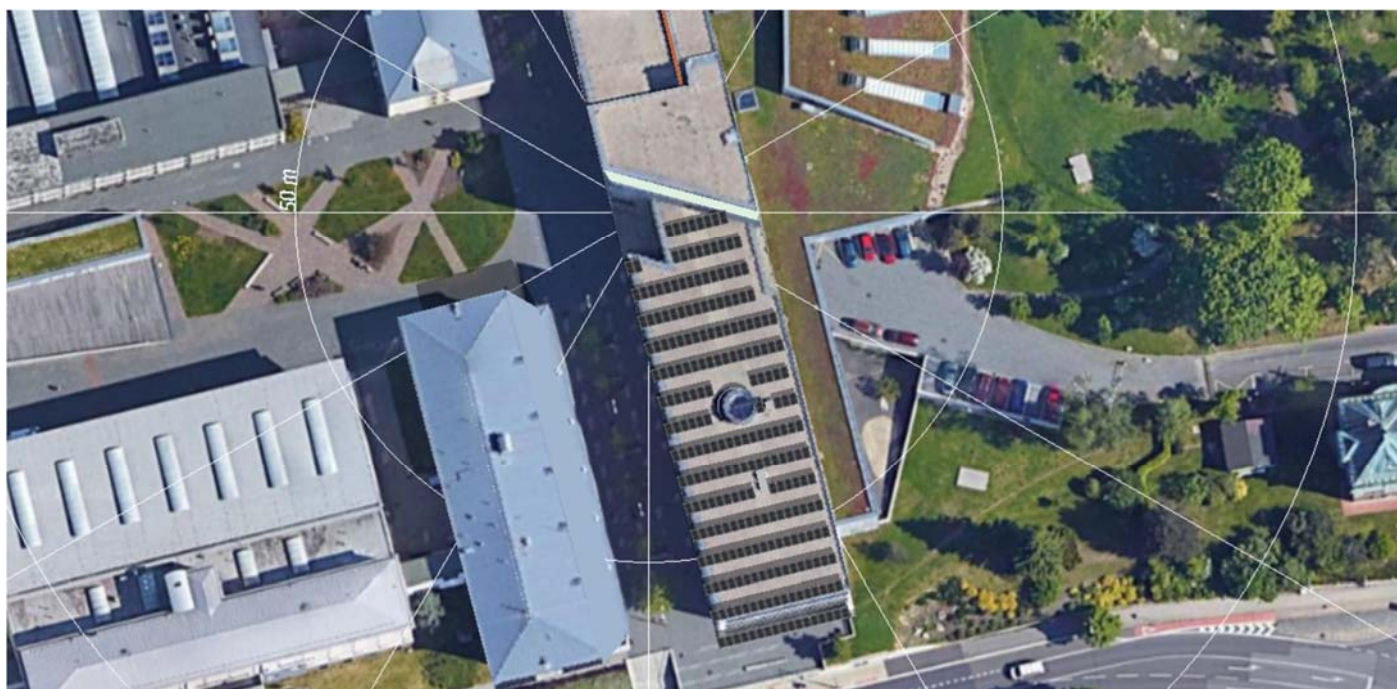


Obr. 137.: Výroba v létě (tul_g_varianta1_1)



Obr. 138.: Výroba na podzim (tul_g_varianta5_1)

9.5.2. Varianta 2: 20,77 kWp (tul_g_varianta2_1)



Obr. 139.: Přehled instalace (tul_g_varianta2_1)

FV systém

Instalovaný výkon	80,07 kWp
Spec. Roční výnos	1 002,58 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	80,19 %
Snížení výnosu zastíněním	12,6 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	80 308 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	80 061 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	246 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	37 727 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

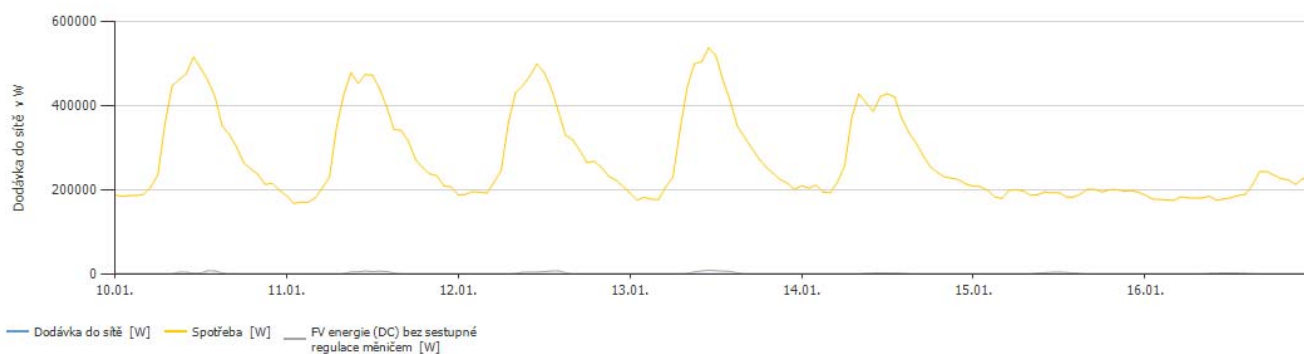
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	37 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 451 kWh/Rok
pokryto FVS	80 061 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 960 389 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	3,9 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

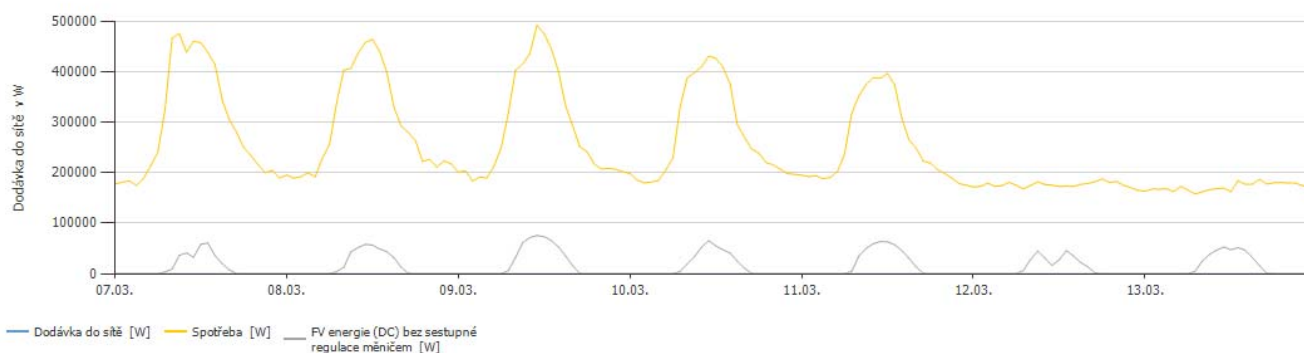


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

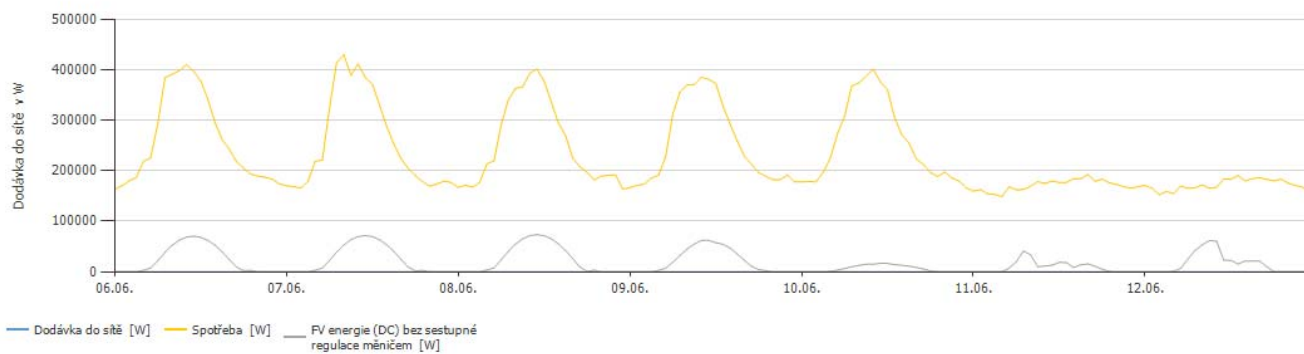
Obr. 140.: Výsledky simulace (tul_g_varianta2_1)



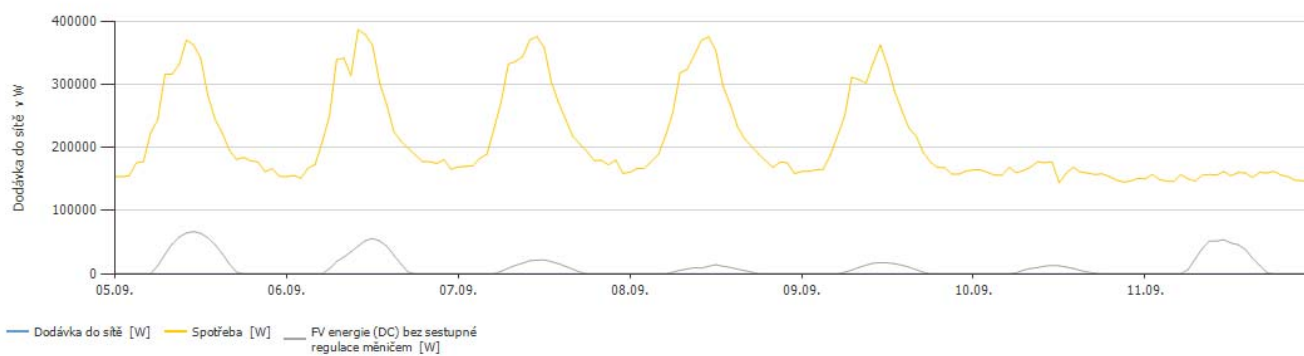
Obr. 141.: Výroba v zimě (tul_g_varianta2_1)



Obr. 142.: Výroba na jaře (tul_g_varianta2_1)

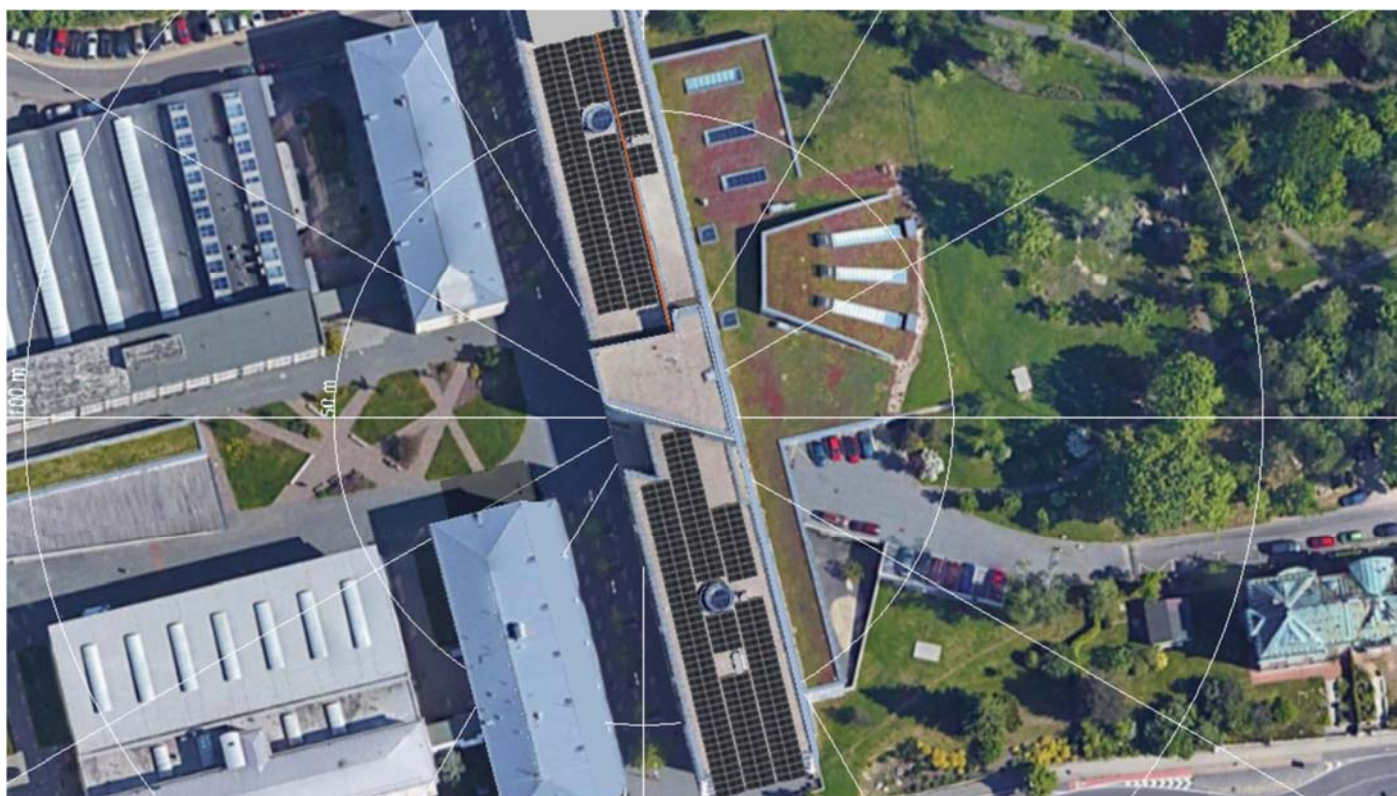


Obr. 143.: Výroba v létě (tul_g_varianta2_1)



Obr. 144.: Výroba na podzim (tul_g_varianta2_1)

9.5.3. Varianta 3: 19,77 kWp (tul_g_varianta3_1)

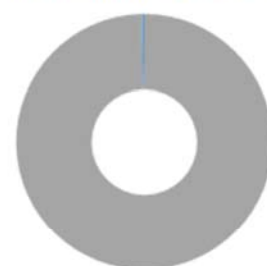


Obr. 145.: Přehled instalace (tul_g_varianta3_1)

FV systém

Instalovaný výkon	216,14 kWp
Spec. Roční výnos	884,11 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	82,25 %
Snížení výnosu zastíněním	7,5 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	191 108 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	190 506 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	602 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	89 813 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

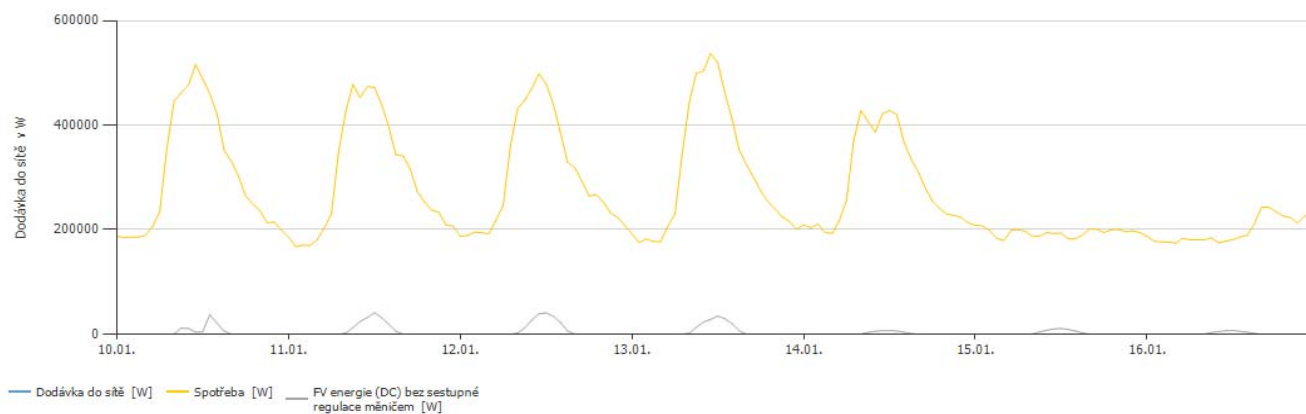
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	17 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 431 kWh/Rok
pokryto FVS	190 506 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 849 926 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	9,3 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

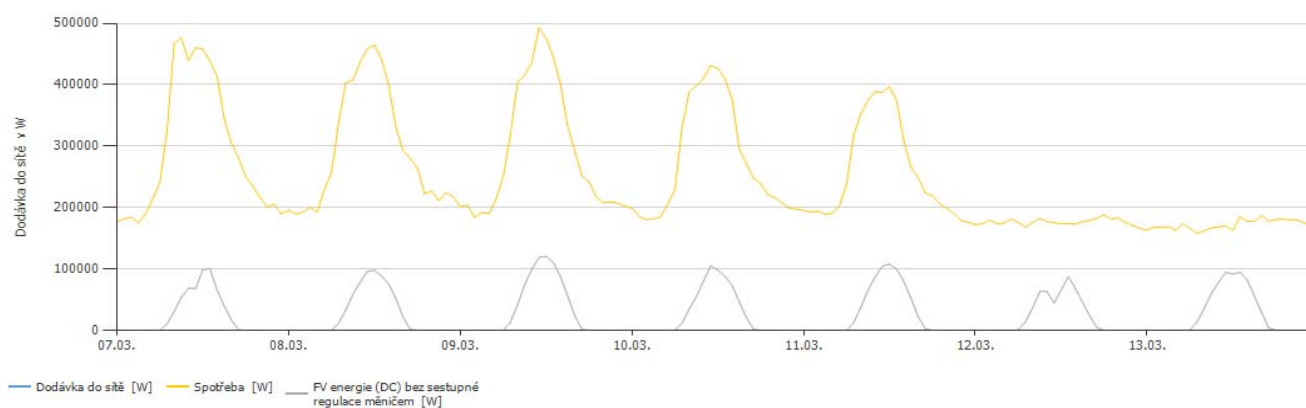


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

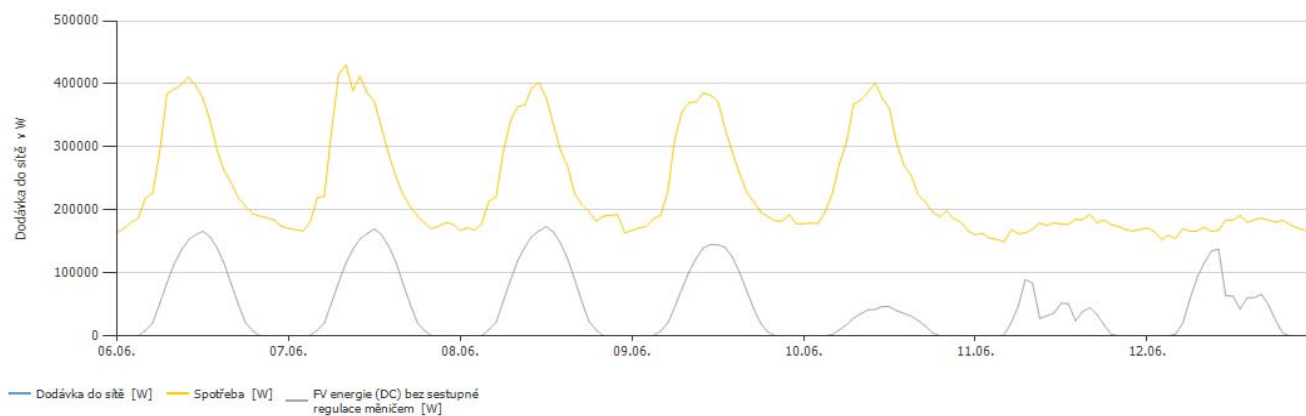
Obr. 146.: Výsledky simulace (tul_g_varianta3_1)



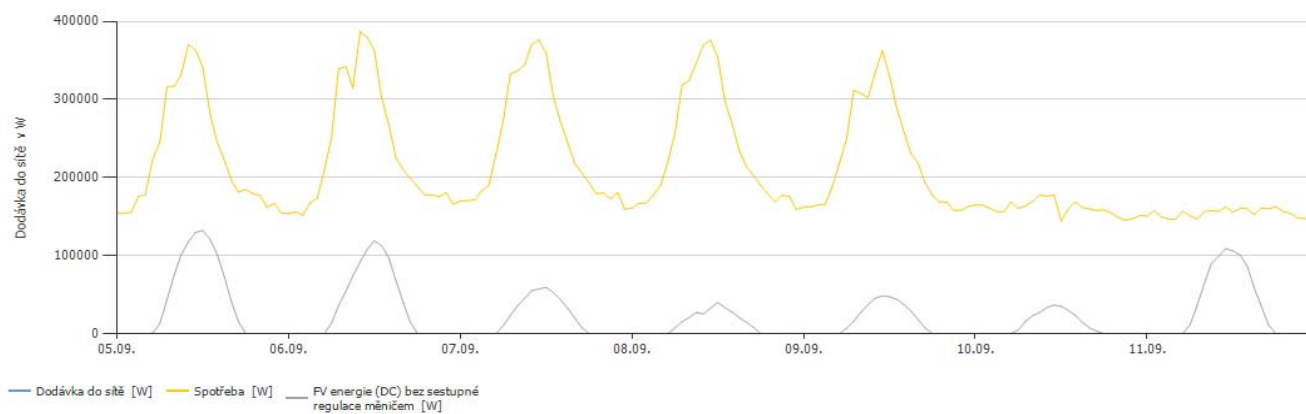
Obr. 147.: Výroba v zimě (tul_g_varianta3_1)



Obr. 148.: Výroba na jaře (tul_g_varianta3_1)



Obr. 149.: Výroba v létě (tul_g_varianta3_1)



Obr. 150.: Výroba na podzim (tul_g_varianta3_1)

9.5.4. Varianta 4: 137,69 kWp (tul_g_varianta4_1)



Obr. 151.: Přehled instalace (tul_g_varianta4_1)

FV systém

Instalovaný výkon	137,69 kWp
Spec. Roční výnos	992,33 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	79,37 %
Snížení výnosu zastíněním	13,7 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	136 669 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	136 221 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	448 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	64 215 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

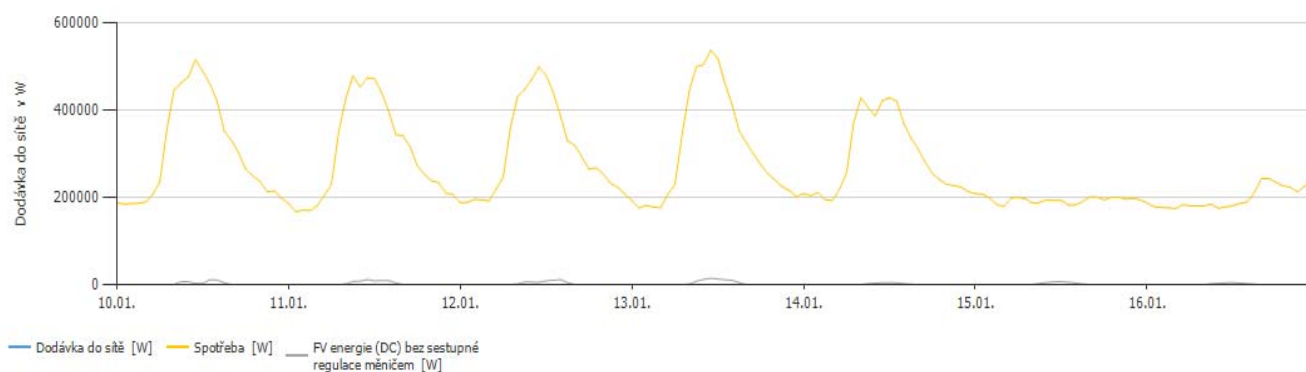
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	41 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 455 kWh/Rok
pokryto FVS	136 221 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 904 234 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	6,7 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

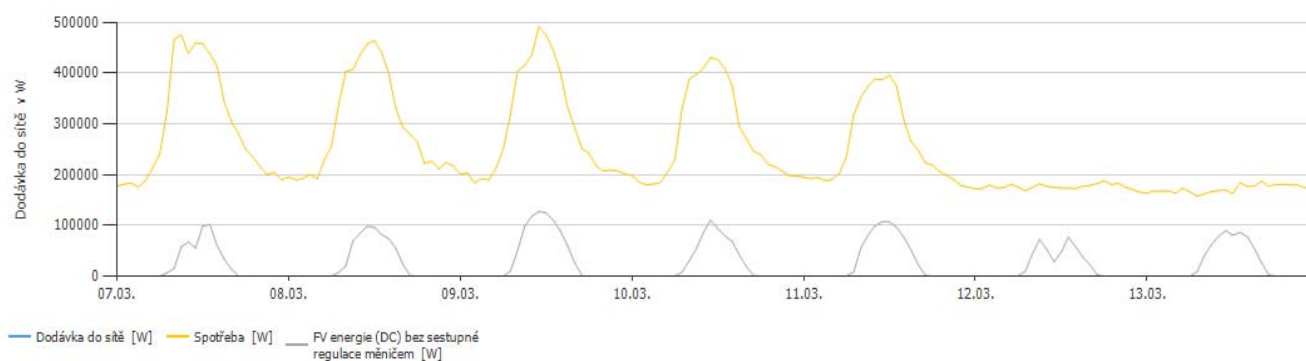


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

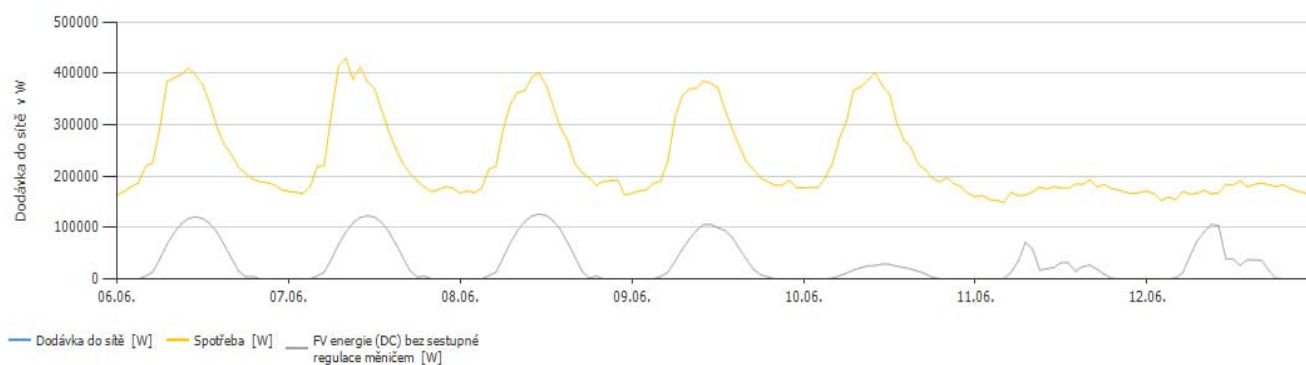
Obr. 152.: Výsledek simulace (tul_g_varianta4_1)



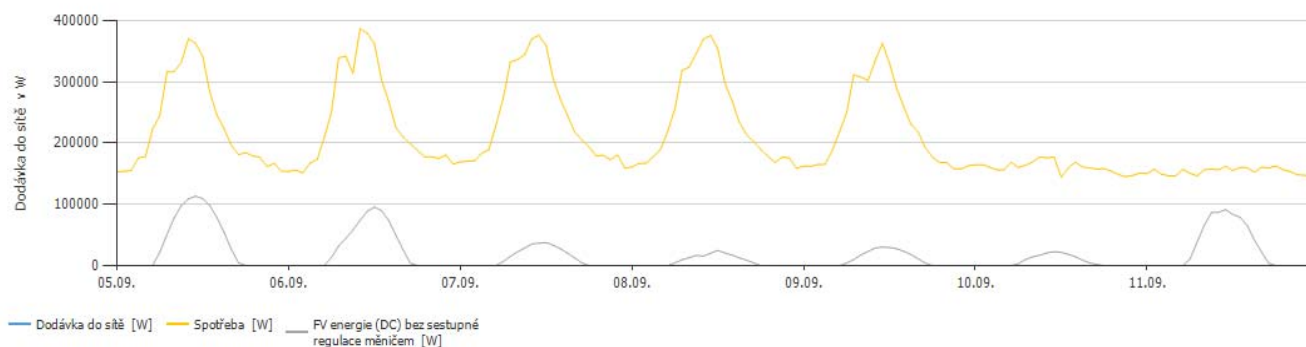
Obr. 153.: Výroba v zimě (tul_g_varianta4_1)



Obr. 154.: Výroba na jaře (tul_g_varianta4_1)



Obr. 155.: Výroba v létě (tul_g_varianta4_1)



Obr. 156.: Výroba na podzim (tul_g_varianta4_1)

9.5.5. Varianta 5: 235,91 kWp (tul_g_varianta5_1)



Obr. 157.: Přehled instalace (tul_g_varianta5_1)

FV systém

Instalovaný výkon	235,91 kWp
Spec. Roční výnos	865,32 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	82,60 %
Snížení výnosu zastíněním	7,3 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	204 159 kWh/Rok
Vlastní spotřeba	203 512 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	0 kWh/Rok
Dodávka do sítě	647 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	99,7 %
Snížení emisí CO ₂	95 942 kg/rok

Energetický výnos FVS (AC síť)



■ Vlastní spotřeba
■ Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení
■ Dodávka do sítě

Spotřebiče

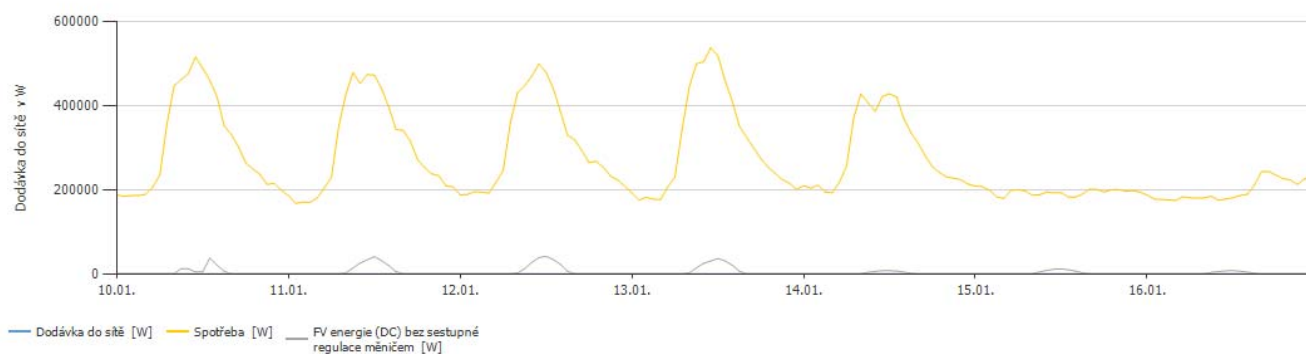
Spotřebiče	2 040 414 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	27 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 040 441 kWh/Rok
pokryto FVS	203 512 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 836 928 kWh/Rok
Podíl pokrytí solární energií	10,0 %

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby

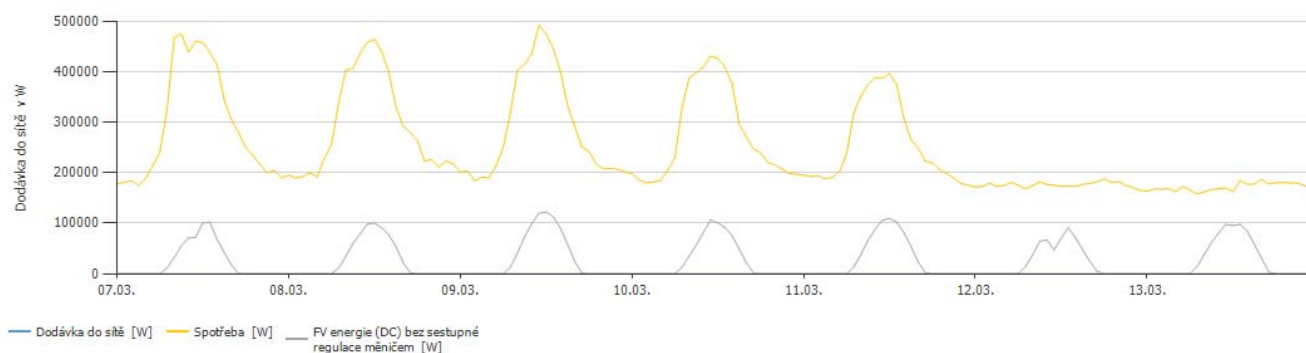


■ pokryto FVS
■ pokryto ze sítě

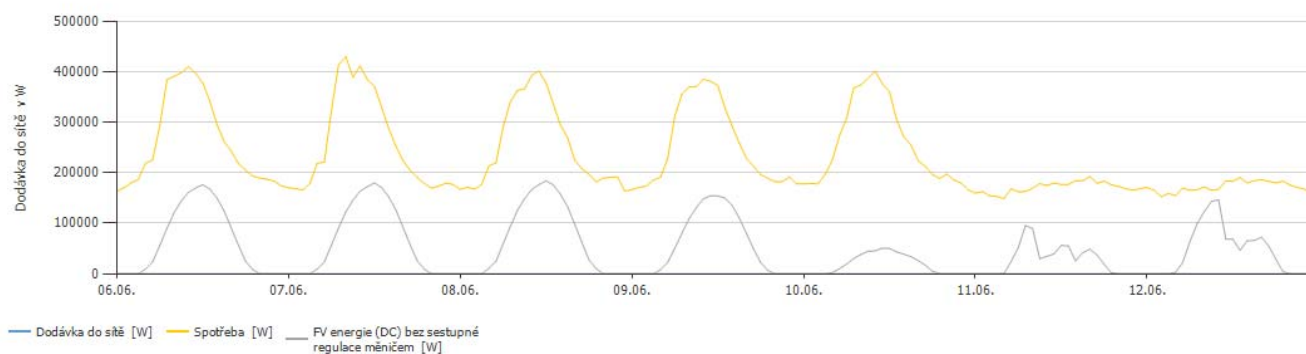
Obr. 158.: Výsledky simulace (tul_g_varianta5_1)



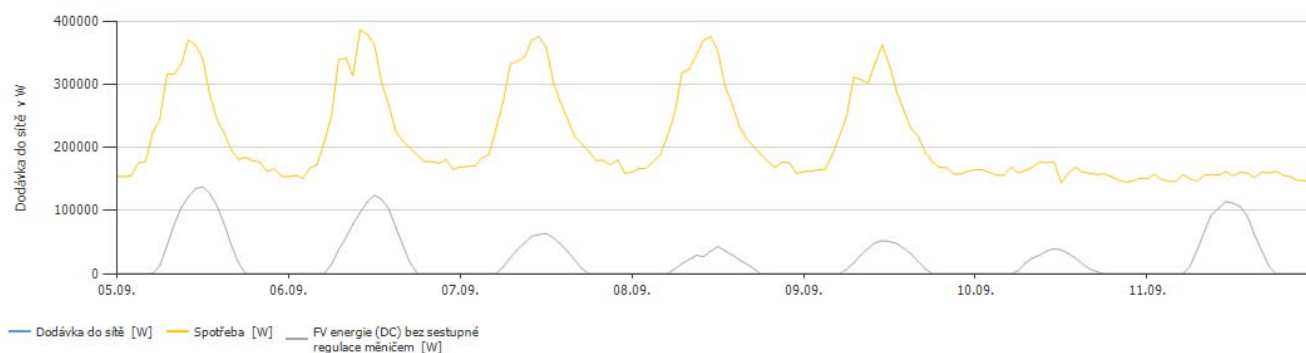
Obr. 159.: Výroba v zimě (tul_g_varianta5_1)



Obr. 160.: Výroba na jaře (tul_g_varianta5_1)



Obr. 161.: Výroba v létě (tul_g_varianta5_1)



Obr. 162.: Výroba na podzim (tul_g_varianta5_1)

9.6. Návrh úprav pro lepší využitelnosti komplexu G

Vzhledem k minimu rušivých objektů a celkové dobré dispozici se nevyplatí žádné složité zásahy do stávající dispozice. Po instalaci konstrukcí je však třeba provést analýzu rizik a následný výpočet celé soustavy LPS, neboť se změní veškeré poměry na střeše.

9.7. Závěr a doporučení

Simulace provedené v programu PV SOL Premium 2023 R6 dokazují, že lze efektivně využít různé plochy ve všech třech komplexech. Tato studie má ukázat, jakým způsobem koncipovat případný projekt FVE na jednotlivých budovách. Jednotlivé varianty představené v této studii lze ještě dále optimalizovat. Tyto úpravy však musí vycházet z konkrétních komponent, které budou v projektu použity. Jedná se zejména o typ modulu a střídače. V závislosti na konkrétní kombinaci lze teprve detailně stanovit stringování, vedení kabelů a další detaily. V principu se však tyto úpravy nebudou lišit od zde prezentovaných výsledků.

Vzhledem k případné velikosti navrhovaných FVE a k velikosti vlastní spotřeby se aktuálně nevyplatí uvažovat o bateriovém systému. Došlo by k podstatnému zhoršení ekonomiky provozu a jediným benefitem by byla možnost zálohy při výpadku napájení. Vzhledem k předpokládané kapacitě baterie (desítky kWh) by se však jednalo pouze o krátkodobou zálohu.

Ze všech představených variant doporučuji následující řešení (v pořadí preference):

1. tul_f_varianta3_1 (107,20 kWp na konstrukci východ – západ na střeše ateliéru F)
2. tul_bcd_varianta1_1 (40,87 kWp na konstrukci jih a na jižní střeše budovy B)
3. tul_g_varianta1_1 (128,40 kWp na konstrukci východ – západ na jižní střeše budovy G)

Pro lepší využití dostupných ploch doporučuji využít rekonstrukci střechy ateliéru F a přepracovat LPS. Dojde ke značnému zlepšení využitelnosti plochy a zde umístěná FVE se jeví jako nejlepší řešení, pokud neuvažujeme střechy G. Jedná se o variantu tul_f_varianta6_1 (140,03 kWp na konstrukci východ – západ na rekonstruované střeše ateliéru F)

V Dolním Poříčí, 28.6.2023

Vypracoval:



Ing. Milan Bělík, Ph.D.

Vedoucí oddělení simulací OZE, Česká fotovoltaická asociace

Vedoucí oddělení environmentálních technologií, Západočeská univerzita v

Plzni