

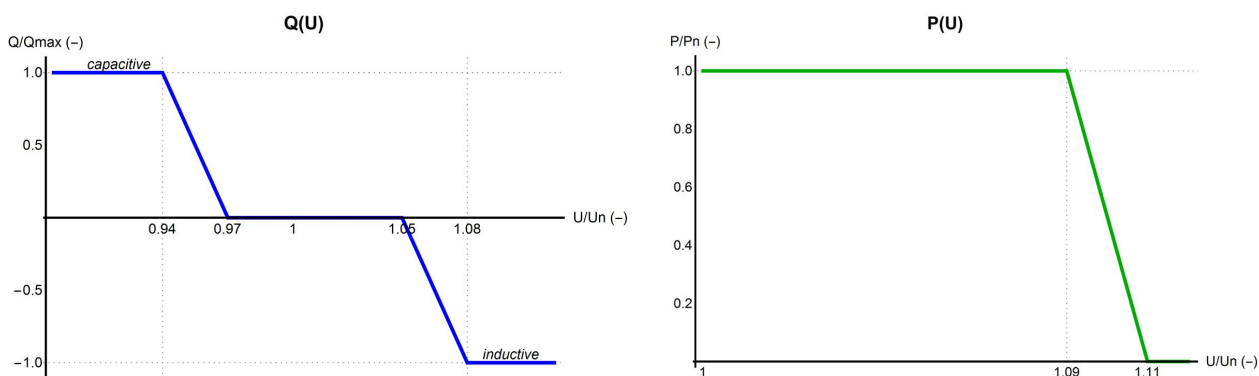
MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ PŘIPOJITELNOSTI VÝROBEN S AUTONOMNÍMI REGULAČNÍMI CHARAKTERISTIKAMI NA HLADINĚ NN

Jan Švec, Pavel Derner, Stanislav Hes, Jan Kůla, ČEZ Distribuce, a.s.

Příspěvek analyzuje možnosti zvýšení připojitelnosti výroben do distribučních sítí nn, jestliže mají tyto výroby aktivní autonomní regulační charakteristiky $Q(U)$, $P(U)$. Je provedeno srovnání reálného chování regulačních charakteristik se zjednodušeným přístupem k výpočtu. Na základě teoretického rozboru je kvantifikován potenciál navýšení vypočteného připojitelného výkonu pro konkrétní distribuční síť z projektu InterFlex i pro typové vývody nn dle NAP SG. Analyzován je vliv elektrických parametrů vývodů na zvýšení připojitelnosti a srovnání přetoků jalového výkonu do sítí vn v případě skutečného chování a zjednodušeného výpočtu.

1. AUTONOMNÍ REGULAČNÍ CHARAKTERISTIKY

Nové decentrální výroby (DECE) na hladině nn, kterých bude dle očekávání do budoucna výrazným tempem přibývat, jsou v souladu s PPDS [1] i technickými normami [2], [3] vybaveny autonomními regulačními charakteristikami $Q(U)$ a $P(U)$. Tyto regulační funkce mají za úkol měnit jalový, případně činný výkon výroby v závislosti na hodnotě napětí v místě připojení s cílem stabilizovat napětí v místě připojení, resp. zmírňovat vliv samotné výroby na napětí v síti. Jejich činnost je podmíněna pouze lokálním měřením napětí v místě připojení a není tedy závislá na jakékoliv komunikaci s nadřazenou/centrální regulační jednotkou. ČEZ Distribuce, a.s. (ČEZd) na svém distribučním území vyžaduje nastavení těchto regulačních charakteristik dle Obr. 1.



Obrázek 1 Autonomní regulační charakteristiky v síti ČEZ Distribuce

Definování bodů obou charakteristik proběhlo na základě zkušeností ze zahraničí i provozních vlastností distribuční sítě ČEZd. Při napětí blízkém jmenovitému pracuje výroba s neutrálním účinníkem. Při výraznějším poklesu napětí přejde výroba do kapacitního režimu a snaží se napětí v síti zvýšit. Při vyšším nárůstu napětí přejde výroba naopak do induktivního režimu a snaží se napětí v síti snižovat. V obou režimech je dle PPDS [1] vyžadován limit účinníku 0,9. Dojde-li v síti k velmi výraznému nárůstu napětí i přes plnou aktivaci funkce $Q(U)$, je aktivováno snižování dodávaného činného výkonu výroby od aktuální hodnoty. Funkce $P(U)$ slouží zejména jako mezní opatření pro udržení parametrů kvality napětí [4] a neměla by být aktivována příliš často i s ohledem na omezení vyráběné energie.

1.1. ZVÝŠOVÁNÍ PŘIPOJITELNÉHO VÝKONU VÝROBEN

Dosavadní postup při výpočtu připojitelnosti výroben na hladině nn používá jako vstupní parametr neutrální účinník ($\cos \varphi = 1$). Bude-li dominantní část výroben na hladině nn vybavena uvedenými regulačními charakteristikami, nabízí se možnost používat při výpočtu připojitelnosti jiný postup, který bude respektovat potenciál těchto charakteristik zvýšit připojitelný výkon výroben, aniž by byla překročena kritéria napěťové změny

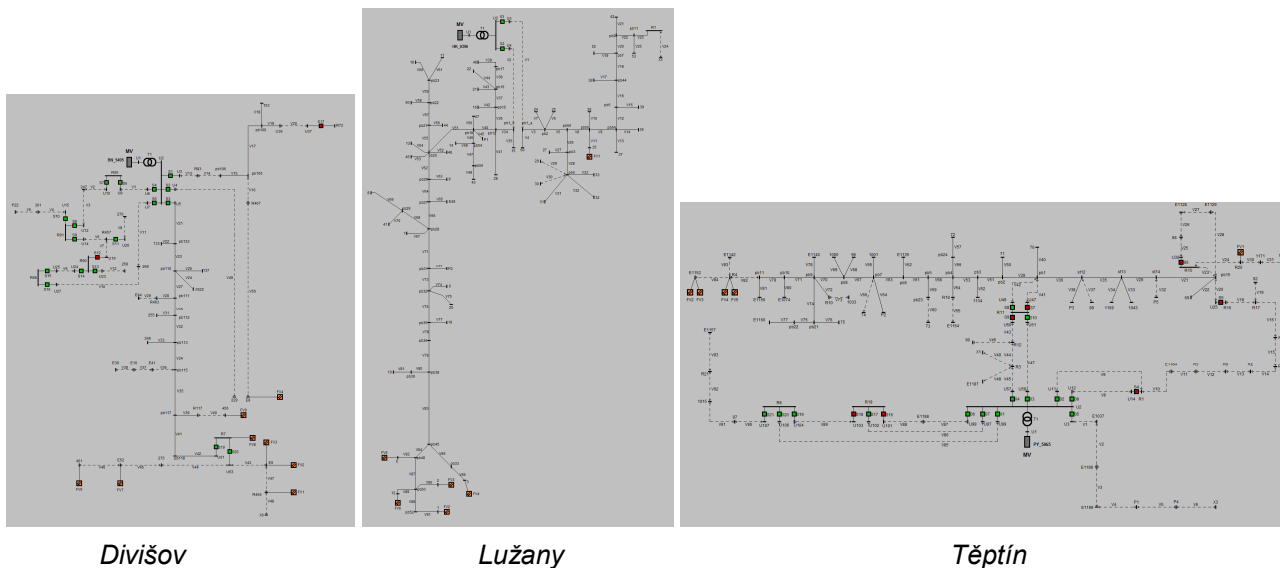
($\Delta u \leq 3 \%$), či úrovně napětí ($U_n \pm 10 \%$), což jsou nejčastější limitující kritéria na hladině nn. (Všechna ostatní kritéria musejí být samozřejmě také sledována.) S ohledem na požadavek na jednoduchost výpočetního postupu i na vlastnosti používaných výpočetních systémů se jako perspektivní varianta jeví využívat při výpočtu připojitelnosti jiný účinník než neutrální, jehož použití bude věrohodně respektovat skutečné vlastnosti výroben vybavených autonomními charakteristikami, zejména Q (U). Analýza uvedená v tomto příspěvku srovnává připojitelnost pro neutrální účinník, pro účinník 0,9 induktivní (který kompenzuje nárůst napětí v síti vlivem dodávky činného výkonu) a pro skutečné chování regulačních charakteristik. Cílem je kvantifikovat potenciál navýšení připojitelnosti v sítích nn vlivem regulačních charakteristik a zároveň prověřit možnost jednoduchého výpočetního postupu tuto vyšší připojitelnost stanovit.

1.2. VSTUPNÍ DATA – MODEL Y SÍTÍ Z PROJEKTU INTERFLEX A NAP SG

Pro účely analýzy byly využity topologie a parametry 3 reálných distribučních sítí v lokalitách ČEZd zapojených do projektu InterFlex [5]. Jedná se o sítě v obcích Divišov, Lužany a Těptín, v nichž se dotčené vývody liší provedením vedení, délkou i rozmístěním uvažovaných výroben podél vývodu. Jako analyzované výroby byly uvažovány střešní FV systémy (pro účely tohoto příspěvku bez akumulace) v referenčním stavu o výkonech cca $3 \div 10$ kW, což odpovídá reálným instalacím v těchto lokalitách. Ve všech případech se jedná o 3fázové výroby. Referenční stavy zahrnují tyto skladby výroben:

- Divišov – 8 x FVE, $P_{\text{inst}} = 55,45$ kW
- Lužany – 6 x FVE, $P_{\text{inst}} = 29,3$ kW
- Těptín – 5 x FVE, $P_{\text{inst}} = 34,11$ kW

Navyšování výkonů při hledání maximálního připojitelného výkonu vždy probíhalo proporcionálně pro všechny výroby v dané síti. Obr. 2 ukazuje pro základní orientaci výpočetní schémata všech 3 sítí v SW DNCalc.



Obrázek 2 Modely nn sítí pro analýzu výpočtů připojitelnosti

Sítě z lokalit zapojených do projektu InterFlex mají specifické topologie a parametry vhodné pro demonstrační testování FV střídačů. Aby byla prováděna analýza objektivní, byly dále uváděné výpočty a úvahy aplikovány rovněž na jednotlivé vývody z modelových sítí nn pro rok 2020 využívaných pro studie v rámci NAP SG pracovních skupin A9, A13. Celkem se jedná o 98 typových vývodů, které by měly reprezentovat co nejširší skupinu nn vývodů v distribučních sítích v ČR.

2. ANALÝZA PŘIPOJITELNÉHO VÝKONU V SÍTÍCH NN

2.1. TEORETICKÝ ROZBOR

Na zvýšení připojitelného výkonu výroben vlivem změny účinníku, resp. aktivací Q (U) charakteristik, mají vliv dva zásadní faktory:

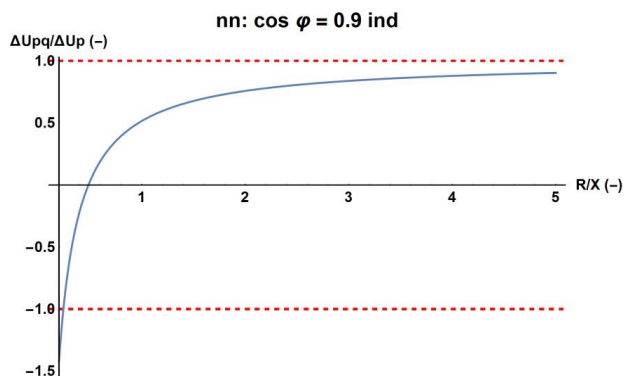
1. „Plošné“ rozmístění výroben v síti – fakt, zda jsou výrobní koncentrovány blízko konce vývodu, či zda jsou rozmístěny v nějakém poměru podél tohoto vývodu, případně i jinde v síti. Tento faktor lze jen velmi obtížně kvantifikovat, protože záleží na konkrétní specifické situaci. Přesto je dále upozorněno na jeho značný vliv.
2. Poměr R/X napájecí trasy – zde je uvažován vždy vývod o celé své délce, rozhodujícími parametry jsou délka vývodu, typ vedení (AlFe, AES, AYKY) a parametry distribučního transformátoru (DTR). Vliv tohoto faktoru je rozhodující a lze ho poměrně jednoznačně kvantifikovat.

Analýza vlivu poměru R/X napájecí trasy byla provedena pro oba uvažované mezní účinníky, tedy neutrální 1 a induktivní 0,9. S vysokou přesností lze určit poměr mezi napětovou změnou (nárůstem napětí) vyvolanou dodávkou činného výkonu P a příslušného jalového výkonu Q při zvoleném účinníku ΔU_{pq} (zde $\Delta U_{0,9}$) a napětovou změnou vyvolanou čistou dodávkou činného výkonu ΔU_p (zde ΔU_1) jako:

$$\frac{\Delta U_{0,9}}{\Delta U_1} \approx \frac{RP - XQ}{RP} = 1 - \frac{X}{R} \cdot \frac{Q}{P} \quad (1)$$

kde P (kW), Q (kVar) jsou výkony výrobní, R (Ω) / X (Ω) jsou odpor/reaktance napájecí trasy (Protože analyzujeme stav s nárůstem napětí v síti, stačí uvažovat induktivní Q.)

Uvažujeme-li jednu výrobní na konci napájecí trasy, pak v závislosti na poměru R/X pro účinník výrobní 0,9 induktivní nabývá poměr $\Delta U_{pq}/\Delta U_p$ hodnot dle Obr. 3.



Obrázek 3 Vliv poměru R/X na napětovou změnu v síti

Převrácenou hodnotou tohoto poměru lze určit koeficient k_{prip} , který určuje, kolikrát lze změnou účinníku zvýšit připojitelnost výroben, je-li limitujícím kritériem napětová změna ΔU .

$$k_{prip} = \left(\frac{\Delta U_{0,9}}{\Delta U_1} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$k_{prip} = \left(1 - \frac{X}{R} \cdot \frac{Q}{P} \right)^{-1} \quad (3)$$

Je zřejmé, že nárůst připojitelného výkonu bude vlivem změny účinníku významnější při nižších hodnotách poměru R/X. Toto pochopitelně odpovídá skutečnosti, že změna účinníku je dána dodatečným tokem jalového výkonu, který má vyšší vliv na napětovou změnu při významnějším podílu X oproti R.

2.2. APLIKACE VE VÝPOČETNÍCH MODELECH

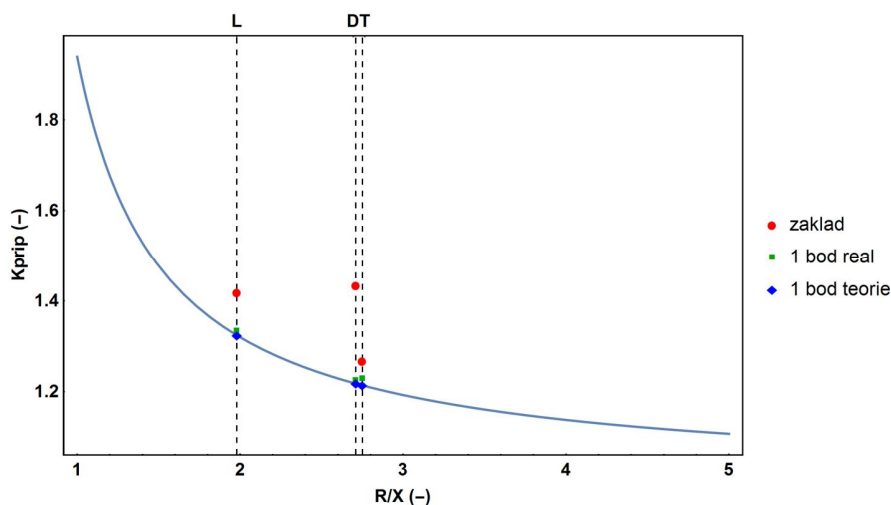
Následně byly pro oba uvažované účinníky (1 a 0,9ind) vypočteny maximální připojitelné výkony pro 3 uvedené sítě z projektu InterFlex. Napětí napájecího zdroje bylo vždy nastaveno na 1,05 Un. Počítány byly vždy dvě varianty označené jako:

- základ = rozmístění FVE v sítích dle referenčního stavu (viz. Obr. 2). Slouží pro vyhodnocení vlivu „plošného“ rozmístění výroben v síti.
- 1 bod = pouze 1 FVE umístěna na konci dotčeného vývodu. Slouží pro verifikaci teoretického rozboru.

Místo	Varianta	Ppřip (kW)		kpřip (-)
		cos fi = 1	cos fi = 0,9 ind	
Divišov	základ	43,2	61,9	1,433
	1 bod	20,8	25,45	1,224
Lužany	základ	11,85	16,8	1,418
	1 bod	8,25	11,0	1,333
Těptín	základ	21,9	27,75	1,267
	1bod	14,45	17,75	1,228

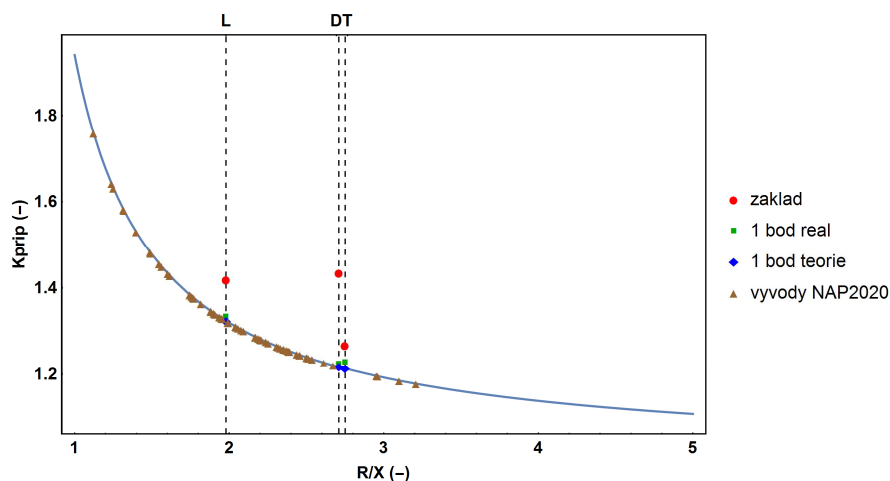
Tabulka 1 Připojitelný výkon pro modely sítí z projektu InterFlex

Následující Obr. 4 porovnává výsledky výpočtů na 3 modelech sítí (1 bod real – zelená) s teoretickými předpoklady (1 bod teorie – modrá). Je zřejmé, že teoretické předpoklady platí (drobné rozdíly jsou způsobeny převážně zaokrouhlováním vypočtených výkonů) a že poměr $k_{přip}$ lze použít při úvahách o zvýšení připojitelného výkonu pro všechny typy nn vývodů. Varianty „základ“ (červená) ukazují, že jsou-li výroby rozmístěny i jinde než na konci dotčeného výkonu, je navýšení připojitelného výkonu ještě vyšší, než lze jednoduše vypočítat na základě známého poměru R/X. Výše tohoto „dodatečného“ navýšení však velmi závisí na konkrétní situaci v síti. Obecně lze konstatovat, že čím méně jsou výroby na vývodu koncentrovány, tím vyšší je toto další navýšení připojitelného výkonu. Nejvyšší dodatečné navýšení tak vykazuje síť Divišov, kde jsou výroby více vzdálené od sebe (viz. Obr. 1).



Obrázek 4 Navýšení připojitelného výkonu vlivem změny účinnosti pro síť z projektu InterFlex

Protože byly ověřeny teoretické předpoklady navýšení připojitelného výkonu výroben vlivem změny jejich účinnosti, lze toto navýšení podle vztahu (3) aplikovat na široké spektrum vývodů nn. Pro tyto účely bylo použito 98 typových vývodů ze studie NAP SG A9, A13. Tyto vývody by měly představovat typické vývody v distribučních sítích v ČR (v roce 2020) včetně jejich poměrů R/X, které se pohybují v rozmezí cca 1 až 3. Srovnáním poměrů R/X s topologiemi těchto vývodů lze konstatovat, že nižší R/X vykazují zejména krátké kabelové vývody za menším DTR a vyšší R/X vykazují spíše dlouhé vývody s vedením AES. Potenciál pro zvýšení připojitelného výkonu díky změně účinnosti z 1 na 0,9ind je pak zřejmý z Obr. 5 a pohybuje v rozmezí cca 20 ÷ 60 % (pro jednu výrobu na konci vývodu).



Obrázek 5 Navýšení připojitelného výkonu vlivem změny účinníku pro nn vývody z NAP SG

2.3. VLIV ROZMÍSTĚNÍ VÝROBEN PODÉL VÝVODU

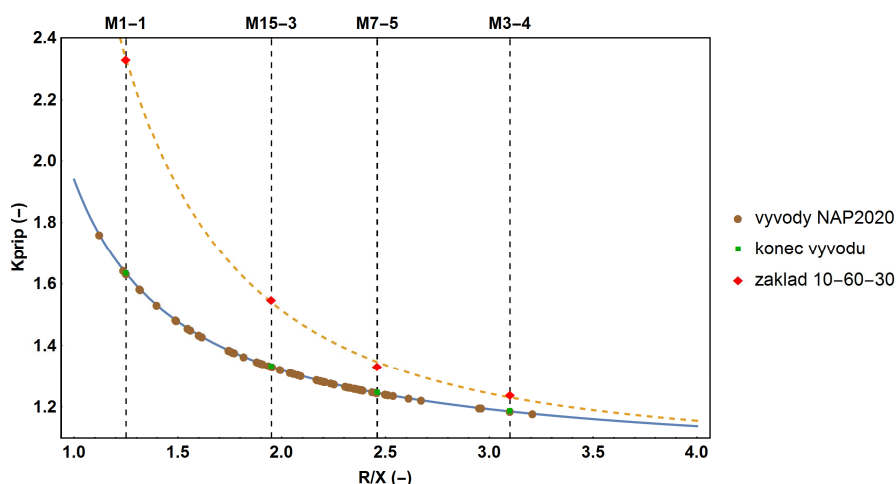
Již byl zmíněn fakt, že umístěním výroben nejen na konci uvažovaného vývodu, ale též podél vývodu, případně i jinde v síti, dále navyšuje připojitelný výkon vlivem změny účinníku výroben. Na sítích z projektu InterFlex bylo toto ukázáno pro referenční stav, který je však různý u každé sítě a příslušné topologie, a nelze z něj tedy vyvozovat široké závěry. Aby bylo možné tento vliv nějak kvantifikovat, byl využit předpoklad ze studie NAP SG pracovních skupin A9, A13, že výkon výroben je podél každého vývodu typicky rozmístěn v poměru 10 – 60 – 30 pro začátek – střed – konec vývodu dle impedancí jednotlivých úseků. Vliv změny účinníku 1 → 0,9ind na připojitelný výkon byl pak vypočten pro 4 zvolené typové vývody, které se liší nejen poměrem R/X celé napájecí trasy, ale též délkou vývodu a typem vedení. Jejich parametry včetně vypočtených připojitelných výkonů jsou shrnuty v Tab. 2.

Model	Vývod	R/X (-)	l (km)	typ	Ppřip (kW)		kpřip (-)
					cos fi = 1	cos fi = 0,9ind	
1	1	1,25	0,255	AYKY	105,1	244,9	2,330
15	3	1,95	0,382	AYKY	98,0	151,6	1,547
7	5	2,46	1,147	AlFe	11,45	15,25	1,332
3	4	3,10	1,131	AYKY+AES	25,45	31,5	1,238

Tabulka 2 Parametry vybraných typových vývodů dle NAP SG

Srovnáme-li navýšení připojitelného výkonu vlivem změny účinníku výroby pro dvě zmíněná rozložení výroben (konec vývodu - zelená vs. 10-60-30 podél vývodu - červená) dle Obr. 6, je zřejmé že při nižším poměru R/X, který sám o sobě vykazuje vyšší nárůst připojitelného výkonu, je dodatečné navýšení vlivem „plošného“ rozmístění výroben ještě výraznější. Pro ostatní vývody, resp. poměry R/X, lze pak proložit čárkovanou křivku, která ukazuje trend pro celou škálu vývodů.

Uvedené srovnání je však přesto spíše podstatné pouze z toho pohledu, že navýšení je vždy vyšší, než při připojení jedné výroby na konci vývodu, pro které lze navýšení snadno určit podle hodnoty poměru R/X. V reálných sítích a situacích nelze běžně srovnávat toto rozložení výroben podél vývodu či v sítích, proto je důležité vědět, že prostým uvažováním teoretického navýšení připojitelného výkonu dle vztahu (3) stojíme vždy na bezpečné straně určení skutečného navýšení připojitelného výkonu.



Obrázek 6 Navýšení připojitelného výkonu vlivem rozmístění výroben pro nn vývody z NAP SG

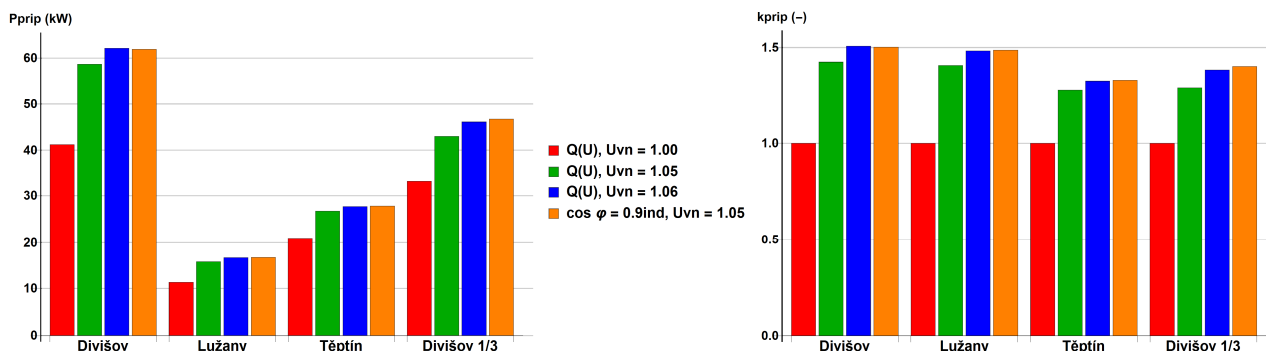
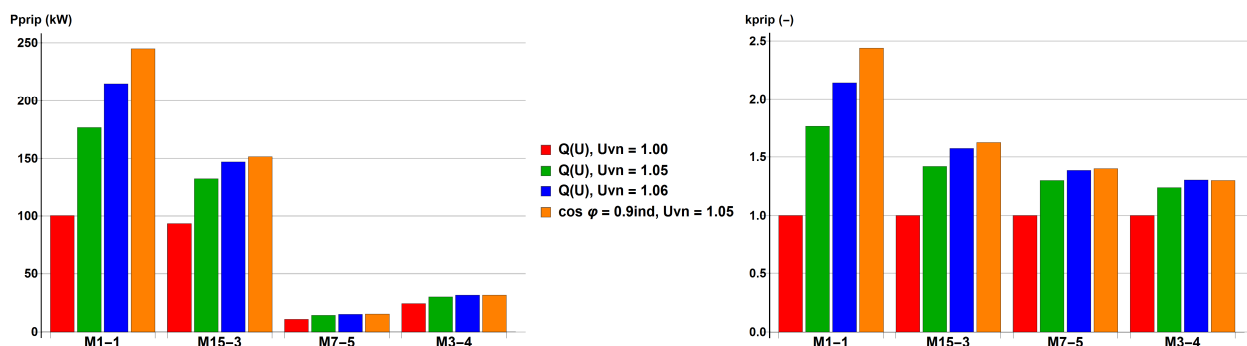
3. VLIV AUTONOMNÍCH FUNKCÍ NA PŘIPOJITELNÝ VÝKON

V předchozí kapitole byl určen potenciál navýšení připojitelného výkonu výroben pro situaci, kdy všechny uvažované výrobní pracují s jednotným účínkem 0,9ind. V reálných sítích se skutečnými regulačními charakteristikami však bude situace odlišná. Míra aktivace jalového výkonu výrobní (účíník) bude závislá na napěťovém profilu podél vývodu a na napájecím napětí (dané napětím v síti vn a odbočkami DTR). Protože je však výpočet připojitelnosti s konstantním účínkem jednoduchý a přehledný, je cílem jej využívat i nadále. Následující analýzy měly za úkol ověřit, zda výpočet připojitelného výkonu pomocí daného účínku (0,9ind) odpovídá připojitelnému výkonu vypočtenému při uvažování skutečných parametrů autonomních regulačních funkcí dle kapitoly 1.

Pro modelové síť z projektu InterFlex a 4 typové vývody z NAP SG bylo provedeno srovnání připojitelného výkonu při uvažování $Q(U)$ charakteristik pro napětí zdroje (ekvivalentu vn síť) 100, 105 a 106 % U_n a při fixním účínku 0,9ind všech výroben pro napětí zdroje 105 % U_n . Pro přiblížení reálným situacím byly pro síť InterFlex uvažovány zmíněné referenční stavy, pro vývody NAP SG pak rozmístění výroben 10-60-30 podél vývodu.

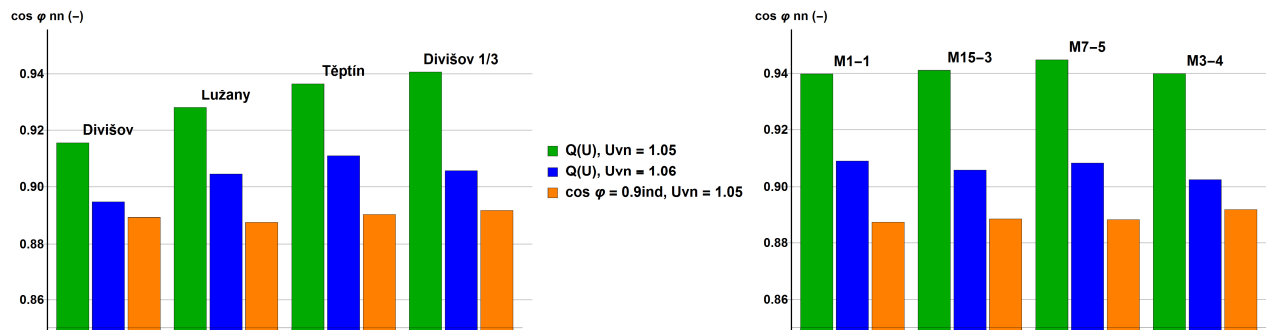
Je zřejmé, že s vyšším napětím sítě budou autonomní $Q(U)$ funkce více regulovat a jejich vliv na zvýšení připojitelného výkonu bude vyšší. Při jmenovitém napětí sítě a limitujícím kritériu $\Delta u \leq 3\%$ je tak vliv $Q(U)$ funkce nulový. V případě autonomních funkcí je však třeba změnit pohled na výpočet připojitelnosti a do postupu zásadně zohlednit i výši napětí v síti, aby bylo možné pozitivní vliv $Q(U)$ funkcí respektovat. 3% změna napětí totiž nepředstavuje problém, pokud bude napětí sítě poblíž jmenovitého, ale je naopak velmi zásadní, kdyby se napětí vlivem výroben mělo přibližovat 110 % U_n . Z tohoto důvodu je jako nejvyšší napětí zdroje (pro výpočet) uvažováno 106 % U_n , což by při 3% změně vedlo k napětí 109 % U_n , kdy má již začít působit regulační $P(U)$ funkce. Její působení však není při běžných stavech žádoucí s ohledem na omezování výroby zdrojů, proto je vhodné považovat hladinu 109 % U_n za maximální akceptovatelnou úroveň napětí v síti a tedy 106 % U_n ve výpočtovém stavu naprázdno za vhodný stav pro porovnání potenciálu $Q(U)$ funkcí s výpočtem dle fixního účínku.

Obr. 7 ukazuje srovnání vypočtených připojitelných výkonů pro síť z projektu InterFlex. Varianta „Divišov 1/3“ představuje modelovou situaci, kdy je celkový výkon výroben rozdělen na třetiny do 3 bodů přibližně ve třetinách impedance celé napájecí trasy. Obr. 8 pak ukazuje obdobné srovnání pro 4 vybrané typové vývody (parametry viz tabulka 2) dle NAP SG. Na obou obrázcích jsou připojitelné výkony v kW a poměrná srovnání k_{prip} vztažena k variantě $Q(U)$, U zdroje = 100 % U_n .

Obrázek 7 Navýšení připojitelného výkonu vlivem $Q(U)$ charakteristik a účinku pro síť z projektu InterFlexObrázek 8 Navýšení připojitelného výkonu vlivem $Q(U)$ charakteristik a účinku pro nn vývody z NAP SG

Nejdůležitější je tedy srovnání modrého a žlutého sloupce, tedy nejvyššího žádoucího působení $Q(U)$ funkcí pro danou konfiguraci sítě a výroben a jednoduchého přístupu výpočtu s fixním účínkem 0,9ind. Je zřejmé, že shoda připojitelných výkonů pro obě varianty je velmi vysoká. Mírné rozdíly ve prospěch fixního účinku jsou pouze u typových vývodů s velmi nízkým poměrem R/X a tedy vysokou citlivostí napětí na změny Q . I přes tyto drobné rozdíly lze konstatovat, že využití jednoduchého přístupu k výpočtu připojitelnosti je možné, protože v reálném provozu se uplatní celá řada dalších vlivů (zatížení, hodnocení napětí z průměru fází, či maximální fáze, aktivace $P(U)$ funkce, měření napětí v místě střídače oproti předávacímu místu, ...).

Rozdíl připojitelných výkonů při výpočtu připojitelnosti s fixním účínkem místo skutečného nastavení $Q(U)$ funkcí je sice malý, až zanedbatelný, je ovšem třeba respektovat, že tento přístup není zcela vhodné použití při výpočtu chodu sítě. Protože při uplatnění $Q(U)$ funkcí jednotlivé výroby regulují Q v závislosti na napětí v místě připojení dle napěťového profilu vývodu, budou se výrazně lišit toky jalového výkonu přes distribuční transformátor. Následující Obr. 9 srovnává účinnky na nn straně DTR pro zmíněné varianty sítě InterFlex i vývody NAP SG pro příslušné připojitelné výkony dle Obr. 8.

Obrázek 9 Účinnky na nn straně DTR při výpočtu dle $Q(U)$ a konstantního účinku 0,9ind

Je zřejmé, že pro výpočet s konstantním účínkem výroben 0,9ind je účinek u DTR mírně pod 0,9 – směrem k DTR při stavu naprázdno klesá P a roste Q induktivní. V případě $Q(U)$ funkcí je však patrný výrazný nárůst účinku (tedy pokles Q), proto je třeba pro účely výpočtu toků jalových výkonů počítat se skutečným regulačním chováním výroben.

Dalším aspektem, který je třeba uvažovat, jsou ztráty v síti. Dodatečný induktivní jalový výkon vyvolaný aktivováním regulačních $Q(U)$ funkcí obecně v induktivně zatížené nn síti vyvolá zvýšení proudu a tedy zvýšení ztrát. Je však třeba vzít v potaz, že regulační $Q(U)$ funkce jsou aktivní jen po omezenou dobu v průběhu celého roku, za který je třeba ztráty vyhodnocovat. Detailní studie v rámci demonstračního projektu v Rakousku [7] ukázaly, že vliv regulačních charakteristik na ztráty je minimální – celkové ztráty v nn síti se změnilly v řádu desetin procent (původních ztrát), v některých případech se dokonce jednalo o pokles ztrát. Rovněž je třeba poznamenat, že ztráty je třeba hodnotit v kontextu celé distribuční sítě. Na hladině vn se čím dál více objevují přebytky jalového výkonu, které následně tečou do vyšších napěťových hladin. V tomto případě pak přídatný odběr jalového výkonu sítěmi nn bude působit pozitivně.

4. ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo analyzovat možnosti zvýšení připojitelného výkonu výroben na hladině nn, které jsou vybaveny autonomními regulačními charakteristikami $Q(U)$ a $P(U)$, zejména s ohledem na napěťové změny. Analýza ukázala, že bude-li při výpočtu připojitelnosti aplikován účinník výroben 0,9 induktivní oproti stávajícímu neutrálnímu účinníku, vzroste připojitelný výkon o desítky procent. Tento nárůst je silně závislý zejména na R/X poměru celé napájecí trasy a „rozprostřenosti“ výroben podél dotčeného vývodu, resp. v celé síti nn. Podle konkrétních parametrů lze očekávat nárůst minimálně v rozmezí cca 20 ÷ 60 %.

Dále bylo ověřeno, že nárůst vypočteného připojitelného výkonu při zjednodušeném uvažování jednotného a konstantního účinníku 0,9ind pro všechny výroby na hladině nn s velmi dobrou přesností odpovídá výpočtu respektujícímu skutečné nastavení regulačních charakteristik $Q(U)$ a $P(U)$ dle požadavků ČEZ Distribuce a očekávané reálné nejhorší napěťové poměry v síti ($U_{max} < 110 \% U_n$). Různá míra regulace $Q(U)$ výroben podél vývodu díky napěťovému profilu tak nemá téměř žádný vliv na připojitelný výkon, ale ovlivňuje zejména přetoky Q mezi hladinami nn a vn, resp. účinník v místě DTR.

Uvedená míra nárůstu připojitelného výkonu je s ohledem na očekávaný nárůst požadavků na připojení výroben na hladině nn velice zásadní a prokazuje pozitivní vliv autonomních regulačních charakteristik na stabilizaci napětí v sítích nn a vyšší integraci decentrálních zdrojů do sítí nn. Respektování uvedeného pozitivního vlivu pak umožní snížení/odložení nutných investic do DS v souvislosti s rozvojem DECE.

5. LITERATURA

- [1] Pravidla provozování distribučních soustav 2018, Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy
- [2] ČSN EN 50438 ed.2: Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí
- [3] PNE 33 3430 - 8 – 1: Požadavky pro připojení generátorů nad 16 A na fázi do distribučních sítí - Část 8 - 1: Síť nn
- [4] ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí
- [5] InterFlex project. [Online]. Dostupný z: <http://interflex-h2020.com/>. [cit. 2018-01-19].
- [6] S. Hes, InterFlex Deliverable 6.1: Design of solution, Prague, 2017. [Online]. Dostupný z: <https://interflex-h2020.com/results/deliverables/>. [cit. 2018-01-19].
- [7] Ch. Winter, M. Heidl, R. Schwalbe, W. Prügler: Harnessing PV inverter controls for increased hosting capacities of smart low voltage grids. 4th Solar Integration Workshop, 10. - 11. 11. 2014, Berlin, Germany



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n° 731289

**Ing. Jan Kůla**

Autor je absolventem ČVUT FEL obor Elektroenergetika a od roku 2013 je zaměstnancem ve společnosti ČEZ Distribuce, a. s. Zastával pozice analytika v oblasti řízení a hodnocení distribučních aktiv a investičního plánování. Od roku 2015 je specialistou v úseku Strategie a věnuje se projektům, aplikacím a vlivu nových technologií v DS, aktuálně zejména v oblasti elektromobility, Business Intelligence a pokročilých metod hodnocení stavu aktiv. Je členem technologického výboru ve sdružení EDSO4SG a Eurelectric.

Tel.: +420 211 042 815, e-mail: jan.kula@cezdistribuce.cz

**Ing. Pavel Derner**

Absolvent ČVUT Fakulty elektrotechnické, studium ukončil v roce 1990. U energetické společnosti (VČE později ČEZ Distribuce) pracuje od r. 1991, kde se věnoval rozvoji vn, ekonomickému hodnocení staveb a později koncepci sítí vvn. V současné době pracuje ve společnosti ČEZ Distribuce, a.s., oddělení Modelace a analýzy jako specialista legislativy a OZE.

Tel.: +420 492 112 297, e-mail: pavel.derner@cezdistribuce.cz

**Ing. Stanislav Hes**

V roce 2010 absolvoval Fakultu elektrotechnickou Českého vysokého učení technického v Praze, obor Elektroenergetika. Od roku 2010 působil v ČEZ Obnovitelné zdroje na pozici specialista rozvoje. Od roku 2013 pracuje ve společnosti ČEZ Distribuce, kde se zabývá možnostmi integrace decentrálních výroben do distribuční soustavy a vedením demonstračních aktivit v rámci mezinárodních pilotních projektů zaměřených na smart grids (InterFlex a GRID4EU). Od roku 2017 je vedoucím oddělení Modelace a analýzy.

Tel.: +420 211 042 826, e-mail: stanislav.hes@cezdistribuce.cz

**Ing. Jan Švec, Ph.D.**

V roce 2004 absolvoval magisterské studium a v roce 2009 doktorské studium na ČVUT v Praze, FEL, obor Elektroenergetika. Působil jako odborný asistent na katedře elektroenergetiky ČVUT FEL se zaměřením na provoz a řízení elektrizačních soustav. Od roku 2017 pracuje ve společnosti ČEZ Distribuce jako specialista modelací v útvaru Strategie. Věnuje se výpočtům, modelování a analýzám v distribučních sítích se zaměřením na integraci nových prvků, technologií a metod řízení do DS.

Tel.: +420 211 042 873, e-mail: jan.svec@cezdistribuce.cz