



**KTH Elektro-
och systemteknik**

Nätnyttomodellens tillförlitlighet med avseende på små förändringar i indata

Lina Bertling och Carl Johan Wallnerström

December 2006
Kungliga Tekniska Högskolan (KTH),
Skolan för Elektro- och systemteknik
TRITA-EE 2006:056

Sammanfattning

Tidigare studier har visat att resultat från Nätnyttomodellen (NNM) är känsliga för förändringar i indata. Exempelvis kan en mindre justering av indata förändra *nätnyttan* med över åtta procent [1], ändringar som för större nät i tidigare studie motsvarar ca 60 miljoner svenska kronor (SEK) per år. Mot bakgrund av detta är det angeläget att utreda tillförlitligheten i resultat från NNM. Grundläggande frågeställning för denna studie är att utreda tillförlitligheten i utdata från NNM. Tillförlitlighet avser här att utreda känsligheten i modellen som effekt av slumpmässiga variationer i indata till NNM.

I studien har ett antal olika elnät analyserats med indata enligt den som har rapporterats till EMI. Variationer i indata har begränsats till att studera slumpmässiga förändringar i läge för lågspänningsabbonenter. Ett antal analyser har även utförts för variation av lågspänningsabbonenters årsförbrukning. Studien presenterar frekvensfördelningar för varians i *debiteringsgrad* och *nätnytta* som resultat av 100 simuleringar med en slumpmässig liten variation i indata med väntevärde noll och fem meter i standardavvikelse (statistiska begrepp förklaras i *avsnitt 1.2.5*), vilken bör jämföras med den av myndigheten accepterade avvikelserna om 30 meter.

Resultat från studien för exempelvis *Västkustens nät*, visar en maximal skillnad om ca 43 miljoner SEK (10,4 %) i *nätnytta*, ca 0,14 (11,2 %) i *debiteringsgrad*, och ca 644 miljoner SEK (16,3 %) i referensnätets nuanskaffningsvärde (NUAK). I praktiken kan det innebära omkring 43 miljoner kronor i förändrad årlig intäkt för *Västkustens nät*. Resultaten visar inget samband mellan storleken på elnät och påverkan på *debiteringsgrad*. Påverkan är ungefär lika stor för ett testsystem med ca 20 abonnenter som för *Västkustens nät* med ca 112 000 abonnenter. Slutsats från analyserna är att avvikelser i indata till NNM resulterar i osäkerheter i utdata av en okänd karaktär, som inte beror på elnätets storlek. Slutsatsen att känsligheten i utdata från NNM är oberoende av elnätets storlek stöds även av ett teoretiskt resonemang där variansen för *debiteringsgraden* uttryckts (se *avsnitt 2.2*).

I studien har även en analys av hur NNM:s resultat påverkas av en ökad årsförbrukning gjorts (*kapitel 6*). Slutsatsen från denna analys är att påverkan är oförutsägbar. Dessutom har resultat från två andra studier av NNM:s känslighet [15][16] granskats och jämförts med resultat från analyser i denna studie, och yttranden från EMI om tidigare studie [1] har bemötts. Betydelsen av *Centrala gränsvärdessatsen* och relation till NNM har också utretts i rapporten.

Huvudslutsats från studien är att resultat från NNM inte är tillförlitligt, då små slumpmässiga variationer i indata kan ge en icke försumbar påverkan på utdata.

Förord

Detta arbete är utfört på uppdrag av Svensk Energi med syfte att utreda Nätnyttomodellens (NNMs) tillförlitlighet. Uppdraget har genomförts av projektledare Dr. Lina Bertling inom ramen för EKC vid KTH Skolan för Elektro- och Systemteknik, inom forskargruppen RCAM, under perioden augusti 2005 - februari 2006, och tilläggsuppdrag februari - december 2006. Anders Pettersson, Svensk Energi, är beställarens ombud. Analyserna för studien har utförts inom RCAM och av forskarstuderande Carl Johan Wallnerström. Granskning av resultat från de statistiska analyserna har utförts av Dr. Jan-Olov Persson, avdelningen för matematisk statistik vid Stockholms universitet. En referensgrupp har följt projektet med representanter från branschen under ledning av Olle Hansson Fortum Distribution, samt med chefsjurist Ronald Liljegren Fortum Distribution och Torgny Wetterberg, Advokatfirman Södermark.

Frågeställningen för uppdraget är en naturlig fortsättning av en tidigare studie ”Känslighetsanalys av Nätnyttomodellens indata” 2005, C. J. Wallnerström, L. Bertling, 2005, KTH, på uppdrag av Fortum Distribution [1]. Denna rapport visar hur mindre ändringar av enskilda indata påverkar utdata för NNM, uttryckt i *nuanskaffningsvärde* (NUAK), *nätnytta* och *debiteringsgrad*. Slutsatsen är att små ändringar i indata kan ge en markant förändring av resultatet för NNM. Frågeställningen för denna studie har specificerats i ett antal punkter enligt a)-e). Uppdraget innebär att analysera och dra slutsatser enligt följande punkter;

- a) Hur påverkar små slumpmässiga förändringar i samtliga lågspänningsabonnenters position NUAK, nätnytta och debiteringsgrad?
- b) Hur påverkar en slumpmässig förändring av energiförbrukningen för samtliga lågspänningsabbonenter (utan större ändring i total energiförbrukning i nätet) NUAK, nätnytta och debiteringsgrad?
- c) Hur påverkar en ökning av total energiförbrukning i ett nät NUAK, nätnytta och debiteringsgrad?
- d) Utred om de studier som är utförda av Sveriges provnings- och Forskningsinstitut, *Statistisk analys av resultat från Nätnyttomodellen*, [15] och [16], står i strid med de resultat som uppnås i denna studie. I samband med detta skall Energimarknadsinspektionens yttranden till tidigare studien [1] enligt [14] och [16] bemötas.
- e) Belys betydelsen av *Centrala gränsvärdessatsen* för resultatet i Nätnyttomodellen. Detta skall göras mot bakgrund av vad som anförts i ”Nätnyttomodellen från insidan, Mats B-O Larsson [2], sidan 28, och påståendet att Nätnyttomodellen på grund av *Centrala gränsvärdessatsen* skulle vara ”mycket robust mot fel i indata”.

Uppdraget innebär också att analysera huruvida avvikelser under punkterna a) - b) är korrelerande till varandra eller anti-korrelerande.

Jag är införstådd med att studien kan komma att åberopas såsom bevis i tvister vid förvaltningsdomstol mellan nätbolag och Energimarknadsinspektionen rörande nättariffers skälighet.



Lina Bertling, Biträdande lektor, KTH Skolan för Elektro- och systemteknik,
Stockholm, den 14 december 2006

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Förord	5
Innehållsförteckning	7
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Definition och förklaring av termer	10
1.3 Problembeskrivning och avgränsning	12
2 Slutsatser och diskussion	13
2.1 Summering av slutsatser från studien	13
2.2 Teoretisk ansats för att utreda tillförlitlighet i NNM	15
2.3 Diskussion e) – Centrala gränsvärdessatsen	17
3 Metod	18
3.1 Utförda analyser	18
3.2 Förteckning över tillgängliga elnät för studien	20
3.3 Utförande av analys a) och b)	21
3.4 Validering av metod a) och b) genom studie av testsystem	24
4 Analys a)– grundfall	29
4.1 Ekerö1	29
4.2 Ekerö2	32
4.3 Blåsjön	36
4.4 Karlskoga	40
4.5 Västkusten	43
4.6 Kungälv	46
4.7 Slutsatser – jämförelse mellan alla analyser med grundfall	48
5 Analys a) och b) – fördjupad studie för Ekerö nät	50
5.1 Inledning	50
5.2 Ekerö2 – högre standardavvikelse	51
5.3 Ekerö2 – ändring av årsförbrukning	54
5.4 Slutsatser – fördjupad studie för Ekerö nät	57
6 Analys c) – studie av konsekvens vid ökad årsförbrukning	58
6.1 Inledning	58
6.2 Resultat	58
6.3 Slutsatser – studie av konsekvens vid ökad årsförbrukning	60
7 Kommentarer till EMIs känslighetsanalyser, d)	61
7.1 Kommentarer till analysresultat [15] och [16]	61
7.2 Bemötande av identifierad kritik i yttrande [14]	63
7.3 Bemötande av identifierad kritik i specifik analys [16]	64
8 Referenslista	66
9 Appendix	67
9.1 Sannolikhetsteori	67
9.2 Nätnyttomodellen	71

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Nätnyttomodellen (NNM) är ett regleringsverktyg utvecklat av Energimarknadsinspektionen (EMI). Syftet är att använda NNM för reglering av den lokala eldistributionen till elabbonenter. EMI:s uppgift är att bedöma skälighet i eldistributionsoperatörernas årliga tariffer och ifall eldistributionsnäten (elnät) ger en god leverans kvalitet.

Grundidén enligt NNM ligger i att först skapa ett artificiellt elnät och därefter, baserat på inrapporterade drifterfarenheter och förutsättningar som myndigheten har valt att ta i beaktning, beräkna en resulterande s.k. *nätnytta* för elabbonenter. Genom att jämföra *nätnytta* med intäkter som eldistributionsoperatörerna har erhållit, beräknas en s.k. *debiteringsgrad*. I det ideala fallet skulle *debiteringsgraden* bli ett, dvs. *nätnytta* för alla elabbonenter skulle motsvaras av total intäkt.

Fr.o.m. 2003 har NNM använts som ett regleringsverktyg. Detta innebär att EMI under 2004 har genomfört en första granskning av intäkter, baserat på inrapporterade drifterfarenheter från 2003. Resultatet gav att flertalet eldistributionsoperatörer fick en resulterande *debiteringsgrad* över ett och trots att EMI accepterade en nivå om ca 1.3 hamnade fortfarande ett flertal eldistributionsoperatörer över accepterad nivå. EMI har ålagt ett antal eldistributionsoperatörer om återbetalning.

1.2 Definition och förklaring av termer

1.2.1 Definition av tillförlitlighet

Flera faktorer kan påverka tillförlitligheten i en modell såsom gjorda förenklingar, val av parametrar, hur resultat används/tolkas eller programmeringsfel i beräkningsverktyg. I denna studie utreds Nätnyttomodellens *tillförlitlighet*, vilken här har avgränsats till uppskattning av potentiell *känslighet* (definieras nedan). Antag att känslighet i NNM gör att utdata både kan erhålla värde A och värde B utan nämnvärd skillnad i indata. Antag vidare att antingen A eller B skulle vara ett helt tillförlitligt resultat; då kan inte det andra värdet också vara det om skillnaden mellan A och B är tillräckligt stor. Detta exempel visar tydligt att känslighet påverkar tillförlitlighet. NNM:s tillförlitlighet definieras här som överensstämmelse mellan utdata (här mätt i *debiteringsgrad* och *nätnytta*) från myndighetens beräkningsprogram och ”korrekta” utdata. Med korrekta, avses här att två nät med ungefär samma *kundnytta* (definierad av modellens upphovsman [2]), skall erhålla ungefär samma *nätnytta* av modellen (rättvisekriterium). Om det kan visas att en förändring i indata, som inte bör påverka kundnyttan mer än marginellt, kan påverka *nätnyttan* och *debiteringsgraden* mer än marginellt, är det tillräckligt för att visa att NNM inte är tillförlitlig.

1.2.2 Definition av känslighet

Begreppet känslighet används i denna studie som ett mått på hur utdata påverkas av osäkerheter i indata. Känsligheten anges som den största differensen mellan högsta och lägsta värde på utdata från 100 olika simuleringar enligt den simuleringsmetod som beskrivs i *kapitel 3* (anges med avseende på *nätnytta* [SEK], *debiteringsgrad* [enhetlös] eller dessa som procent av *originalvärde* som definieras nedan). Osäkerheterna simuleras i denna studie som slumpmässiga, normalfördelade förändringar med väntevärde noll och är valda till att ha en storleksordning ungefär densamma eller betydligt lägre, jämfört med den osäkerhet indata kan ha i verkligheten enligt erfarenhet [17]. I de flesta analyser förändras lågspänningsabonnenternas koordinater med standardavvikelse fem meter; om så ej är fallet, framgår det tydligt i rapporten. Detta bör jämföras med EMIs accepterade avvikelse på 30 meter [2]. Begreppen standardavvikelse och väntevärde förklaras nedan.

1.2.3 Definition av originalvärde

Originalvärden är de utdata (t.ex. *nätnytta* eller *debiteringsgrad*) som erhålles om NNM körs med samma indata (utan någon modifikation) som företagen har rapporterat in till EMI.

1.2.4 Definition av täthet

Med täthet avses, när inget annat skrivs, utdata från beräkningsprogrammet ”Netben” på resultatnivån (dvs. alla nätnivåer inberäknat). Algoritmerna i NNM använder olika tätheter som indata.

1.2.5 Förklaring av standardavvikelse, normalfördelning och väntevärde

För att förklara hur analyserna är gjorda, används begrepp som *standardavvikelse*, *normalfördelning* och *väntevärde* i rapporten. Dessa begrepp kan vara främmande för en del av rapportens målgrupp, samtidigt som det vore omständigt att förklara samma sak korrekt och entydigt utan att använda dessa ord. I *appendix* förklaras statistiska begrepp mer matematiskt och i bl.a. [12] ges fullständiga definitioner.

Den analys som har utförts flest gånger är en simulerad osäkerhet i läge, vilket modelleras av att avvikelser (positiva eller negativa) adderas på respektive lägeskoordinat oberoende av

varandra. Dessa är *normalfördelade* med *väntevärde* noll och *standardavvikelse* fem meter. Det betyder att ett tal slumpas fram för varje koordinat (avrundas sedan till heltal eftersom det är jämna meter företagen brukar redovisa), exempelvis -2, 4, 1, 6, 0, 2 eller -3, vilka sedan adderas till alla lågspänningsabonnenters två lägeskoordinater oberoende av varandra. Att *väntevärdet* är noll innebär att genomsnittsvärdet från många sådana simuleringar skall vara noll, det är således lika stor sannolikhet att abonnenten flyttas åt öster, som åt väster; åt norr som åt söder. Att *standardavvikelsen* är fem meter innebär att den genomsnittliga avvikelsen är fem meter från originalvärdet, dvs. 5 eller -5 (observera att detta är det genomsnittliga avståndet från det genomsnittliga värdet på noll).

Att avvikelsen är *normalfördelad* betyder att det är lika stor sannolikhet att avvikelsen är x meter som $-x$ meter, oavsett om x är lika med 1, 3, 7 eller vilket annat tal som helst. En annan egenskap är att sannolikheten är störst att hamna nära *väntevärdet* (i detta fall noll) och att sannolikheten minskar att erhålla avvikelser, ju längre de är från *väntevärdet*; sannolikheten är t.ex. större att erhålla 4 eller -4 än 8 eller -8. Hur snabbt sannolikheten att erhålla värden minskar med avståndet från *väntevärdet* bestäms av *standardavvikelsen*. Med en *standardavvikelse* på fem meter blir den slumpvisa avvikelsen sällan mer än 15 meter och endast någon enstaka gång över 20 för analyser med över 10 000 simuleringar och som högst ca 25 – aldrig 30 eller mer trots flera miljoner simuleringar totalt i studien (detta kontrollerades, men i teorin finns det dock ingen övre gräns även om sannolikheten snabbt blir i det närmaste obefintlig). Med *väntevärde* 20 meter är sannolikheten inte längre obefintlig att ibland ha en osäkerhet på över 30 meter.

1.3 Problembeskrivning och avgränsning

Syftet med denna studie är att utgöra underlag för bedömningar rörande Nätnyttomodellens (NNM) stabilitet. Grundläggande frågeställning för uppdraget är att utreda tillförlitlighet i utdata från NNM. Denna frågeställning har specificerats i diskussion med uppdragsgivaren i ett antal punkter enligt a)-e) vilka presenteras i förordet. Metoder för att studera dessa frågeställningar presenteras i *kapitel 3*.

Utdata från NNM avser i första hand *debiteringsgrad* eller *nätnytta*. *Nätnytta* kan beräknas som summan av *nätprestation*, *överföring*, *administration*, *fasta kostnader* och ett avdrag, så kallat *kvalitetsavdrag*. Ekvation 1 presenterar beräkning av *debiteringsgrad*.

Att utreda tillförlitlighet avser här att utreda variationer i utdata från NNM som effekt av slumpmässiga variationer i indata. Variationer i indata har i denna studie avgränsats till att gälla variationer i läge för alla lågspänningsabonnenter (nätnivå 1). Ett antal analyser har även utförts för variation av alla lågspänningsabonnenters årsförbrukning. Slumpmässiga förändringar i indata har varit normalfördelade, med väntevärde noll och med en viss bestämd standardavvikelse (i flera av analyserna vald till fem meter, se *avsnitt 1.2.5*).

$$DG = \frac{T}{N}$$

där

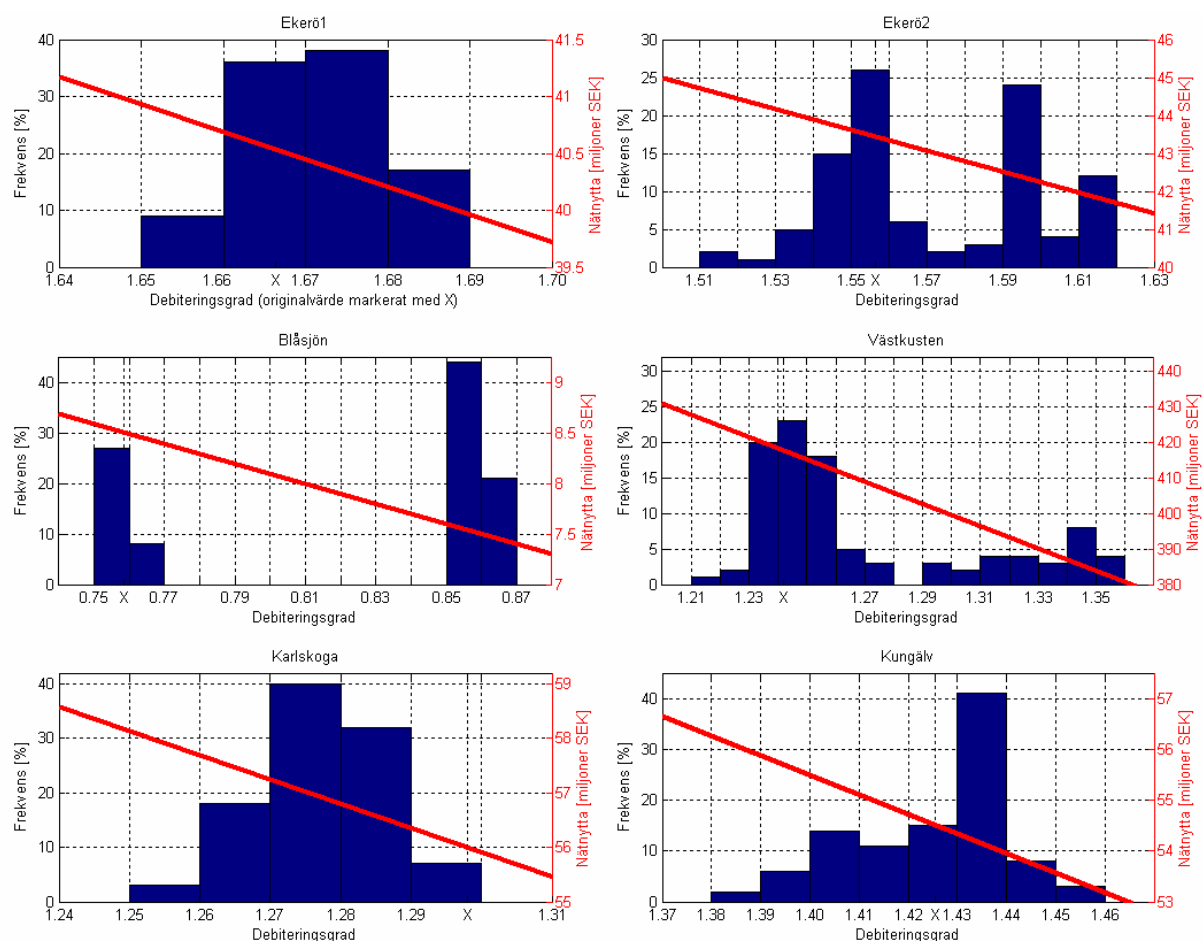
- DG är *debiteringsgrad*
- T är intäkter (i huvudsak från abonnenternas tariffer)
- N är *nätnytta* vilken består av följande kostnadsdelar:
 - o *nätprestation* (vilken beräknas för fyra olika nätnivåer),
 - o *överföring* (ledningsförluster),
 - o *administration*,
 - o *fasta kostnader*, och eventuellt
 - o *kvalitetsavdrag*.

Ekvation 1 Uttryck för beräkning av *debiteringsgrad* och *nätnytta* enligt NNM

En mer utförlig beskrivning av NNM och underliggande teorier presenteras i *appendix*, *avsnitt 9.2*.

2 Slutsatser och diskussion

2.1 Summering av slutsatser från studien



Figur 1 – Alla histogram från analyserna med grundfall

Figur 1 summerar resultat från ett urval av analyser utförda inom denna studie. Resultaten visar hur utdata från NNM, här uttryckt i *debiteringsgrad* och *nätnytta*, varierar som resultat av slumpmässig variation i indata, här förändringar i lågspänningsabonnenternas läge. Graferna visar frekvensfördelningar för *debiteringsgrad* som resultat av 100 simuleringar med slumpmässig variation i indata (även *nätnytta* som funktion av *debiteringsgrad* illustreras i graferna enligt den högra axeln).

Vid en jämförelse av analysresultat för de olika elnäten konstateras att modellens känslighet för indataförändringar skiljer sig mellan dem. Figuren visar att variationen i *debiteringsgrad* som effekt av slumpmässiga förändringar i indata inte följer någon generell fördelning. För exempelvis Västkustens nät, ges en maximal skillnad (efter 100 simuleringar) om ca 43 miljoner svenska kronor (SEK) (10,4 %) i *nätnytta*, ca 0,14 (11,2 %) i *debiteringsgrad* och ca 644 miljoner SEK (16,3 %) i *NUAK* (referensnätets nuanskaffningsvärde) när lågspänningsabonnenternas lägeskoordinater slumpvis ändras med standardavvikelsen fem meter (se *avsnitt 1.2.5*). I praktiken kan det innebära omkring 43 miljoner SEK i förändrad årlig intäkt för Västkustens nät. Inget samband mellan storleken på nät och påverkan på *debiteringsgrad* har påvisats under analyserna. Påverkan är ungefär lika stor för ett testsystem med ca 20 abonnenter som för Västkusten med ca 112 000 abonnenter. Slutsatsen blir därmed

att osäkerheter i indata till NNM kommer att resultera i osäkerheter i utdata av en okänd karaktär, som ej beror på nätets storlek. Det vill säga, om ett av Sveriges elnät slumpvis studeras, så går det inte att på förhand veta hur resultatet i NNM påverkas av osäkerheter i indata – denna effekt är varken objektiv eller förutsägbar; vissa nät påverkas relativt lite andra betydligt mer. Intressant är också att ”känsliga” nät som Västkusten och Blåsjön har relativt stor sannolikhet att hamna nära analysens ”extremvärden”, vilket exempelvis tidigare studie [1] inte kunde ge svar på. Det är således inte svårt att hitta två värden som ligger långt ifrån varandra för dessa nät.

Detaljerad studie av *nätnyttan* och dess ingående delar visar att det är förändring av *nätprestation* på den högst ingående nätnivån i referensnätet (är olika för olika nät och högst 135 kV) som påverkar utdata mest vid indataförändringar på lågspänningsnivån och att *kvalitetsavdraget* har en motverkade effekt (när total *nätnytta* blir högre, blir även *kvalitetsavdraget* det och tvärtom, vilket ger en dämpande effekt på förändringar). Det torde innebära att nät som inte har något *kvalitetsavdrag*, i genomsnitt är känsligare för förändringar i indata än andra. Fler och mer detaljerade slutsatser från studien presenteras i *avsnitt 4.7* och *avsnitt 5.4*.

Ytterligare en analys har gjorts inom denna studie. Effekten på resultatet i NNM vid en ökad total belastning på nätet från ett år till ett annat har studerats, vilket exempelvis kan bero på vädervariationer. Slutsatsen är att påverkan är oförutsägbar och att anledningen är känslighet i konstruktionen av referensnät. Se *kapitel 6* för mer detaljerad information

2.2 Teoretisk ansats för att utreda tillförlitlighet i NNM

Nedan redovisas en ekvation för *debiteringsgrad* (där DG är *debiteringsgrad*, t_i är den tariff abonnent i betalar, X_i är den del av *nätnyttan* som är ”nytta” för abonnent i och n är antalet abonnenter). Observera att uppdelningen av *nätnyttan* i olika delar görs annorlunda här, jämfört med den som görs i teoriavsnitten om Nätnyttomodellen (avsnitt 9.2), där *nätnyttan* delas in i kostnader för *nätprestation*, *överföring* etc. I de simuleringar som görs ändras läget för varje abonnent slumpmässigt, vilket resulterar i olika värden på N . Vid beräkning av *debiteringsgrad* hålls T oförändrad och *debiteringsgraden* kan således betraktas som en funktion av slumpvariabeln N .

$$DG = \frac{T}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = \frac{\bar{t}}{\bar{X}}, \text{ där } \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \text{ och } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Ekvation 2 – Debiteringsgraden uppdelad i varje abonnents bidrag

Variansen för *debiteringsgraden* kan approximativt beräknas med felfortplantningsformeln (Gauss approximationsformel) [9]. Den ger:

$$Var(DG) = \text{var}\left(\frac{\bar{t}}{\bar{X}}\right) \approx \left(\frac{\bar{t}}{\mu^2}\right)^2 Var(\bar{X}), \text{ där } \mu \text{ är väntevärde för } \bar{X}.$$

Ekvation 3 – Uppskattning av debiteringsgradens förväntade varians med avseende på Gauss approximationsformel

För ett givet nät är alltså variansen för *debiteringsgraden* proportionell mot variansen för \bar{X} , så variansen för \bar{X} kan i första hand studeras. \bar{X} är ett medelvärde av n stycken slumpvariabler och med sannolikhetslära [9] kan det visas att variansen blir:

$$Var(\bar{X}) = \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i=1}^n Var(X_i) + 2 \sum_{1 \leq i < j \leq n} Cov(X_i, X_j) \right) = \{ \text{om oberoende} \} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n Var(X_i)$$

Ekvation 4 – Varians för \bar{X} om alla varianser är oberoende

Om varianserna är oberoende (redan antaget ovan) och likafördelade ($Var(X_i) = \sigma^2$ för alla i), erhålles:

$$Var(\bar{X}) = \frac{\sigma^2}{n}$$

Ekvation 5 – Varians för \bar{X} om alla varianser är oberoende och likafördelade

Om slumpvariablerna har samma varians och är fullständigt positivt korrelerade blir variansen istället:

$$Var(\bar{X}) = \sigma^2$$

Ekvation 6 – Varians för \bar{X} om alla varianser är positivt korrelerade och likafördelade

Om Ekvation 5 vore tillämpbar skulle *debiteringsgradens* varians vara mindre, ju fler abonnenter ett nät har. Om istället Ekvation 6 vore tillämpbar skulle *debiteringsgradens* varians inte alls bero på antalet abonnenter. Nät med många abonnenter skulle ha samma varians för *debiteringsgraden* som nät med få. Dessa två påståenden gäller under förutsättning

att proportionalitetskonstanten $\left(\frac{\bar{t}}{\mu^2}\right)^2$ (se Ekvation 3) inte ökar med abonnentantalet. Inget av

dessa två extremfall torde vara direkt tillämpbara för modellen. I verkligheten är inte varianser lika och kovarianser förekommer i olika grad, men trots det så ger formlerna en viss förståelse för vad som inverkar på *debiteringsgradens* varians och vad som krävs för att variansen skall vara låg.

Enligt Ekvation 4 och Ekvation 5 minskar variansen med ett ökat antal abonnenter, förutsatt att deras respektive bidrag till den totala *nätnyttan* är oberoende av varandra, vilket skulle kunna vara ett argument för att NNM är tillförlitlig. Det nät med minst antal abonnenter som har analyserats (testnätet) har ca 20 abonnenter (*nätnyttan* delas upp i 20 bidrag) och Västkusten har flest med ca 111 600 abonnenter. Om extremfallet, Ekvation 5 vore tillämpbar skulle Västkusten ha en ca 334 gånger lägre standardavvikelse än testnätet (standardavvikelsen är roten ur variansen och $334 \cdot 334 = 111\,556$). Analysresultaten i denna studie visar att *debiteringsgraden* som mest skiljde med 11,2 % (Västkusten). Eftersom det teoretiska värdet inte stämmer med analysresultatet, är de gjorda antagandena fel, nämligen antagandet om att varje abonnents del av total *nätnytta* är oberoende av varandra.

Eftersom testnätet är konstruerat bör även två verkliga nät jämföras innan denna slutsats kan dras med säkerhet: Karlskoga har ca 16 000 abonnenter och bör enligt teorin vara ca 308 gånger mer känslig för indataförändringar än Västkusten. I själva verket är Karlskoga ett av de minst känsliga näten av alla de nät som har studerats; Västkusten är ca 3 gånger känsligare, ett omvänt samband än teorin (vid antagandet om oberoende) i detta fall. Om alla näts resultat granskas, verkar känsligheten i utdata vara helt oberoende av antalet abonnenter. Detta resultat, tillsammans med observationer på att en icke obetydlig känslighet kan finnas, visar att Nätnyttomodellen inte är tillförlitlig för exempelvis osäkerhet i läge om några meter för lågspänningsabbonenter.

Därmed ges slutsatsen att resultat från NNM inte är tillförlitliga i enlighet med definitionen som anges i *avsnitt 1.2.1*. Osäkerheter i indata som bör ha en försumbar inverkan på *nätnyttan* kan ge en icke försumbar inverkan på utdata av en på förhand icke känd karaktär.

2.3 Diskussion e) – Centrala gränsvärdessatsen

I dokumentationen av NNM och NNM:s utvecklingsarbete, se bl.a. [2] och [5], användes *Centrala gränsvärdessatsen* (CGS) för att motivera stabilitet för modellen med avseende på små indataförändringar. Resultat från denna studie och studier av sannolikhetssteori (se *appendix*) visar på att CGS inte kan anses tillämpbar för en sådan argumentation.

CGS säger att en summa av oberoende likafördelade stokastiska variabler med godtycklig fördelning i regel är ungefär normalfördelad, om antalet komponenter i summan är tillräckligt stort [12]. Resultat från denna studie har visat att *debiteringsgraden* inte generellt följer en normalfördelning. Även om studiens resultat hade varit att påverkan på utdata alltid följde en normalfördelning, är det tveksamt på vilket sett CGS skulle kunna vara till nytta för att argumentera för stabilitet med avseende på indataförändringar. CGS säger visserligen att påverkan har väntevärde noll, men inte att standardavvikelsen är låg [12] – vilket är det nyckeltal som bestämmer känslighet.

3 Metod

Enligt förord för denna rapport finns fyra frågeställningar (a-d) som skall besvaras i denna studie. Utöver detta skall *Centrala gränsvärdessatsen* belysas (punkt e), vilket görs i *avsnitt 2.3*. Detta avsnitt presenterar analysmetoder för att studera dessa frågeställningar. I appendix presenteras sannolikhetsteori som ligger till grund för dessa metoder.

Analys a) och b) utgör en dominerande del av den totala studien och har brutits ned i följande delresultat från analyserna:

1. Uppskatta frekvensfördelningar för *debiteringsgrad* påverkad av små slumpvisa förändringar i indata.
2. Undersök om vissa typer av nät är känsligare för indataförändringar än andra och i sådana fall om det finns några trender (t.ex. stora/små, tätort/glesbyggd, fördelning mellan nätnivåer etc.).
3. Analysera för varje nät resulterande inverkan i utdata för varje specifik del av *nätnyttan* innefattande:
 - i. Hur stor andel varje specifik del av *nätnyttan* utgör.
 - ii. Beroendet mellan resultatet i *nätnyttans* olika delar genom att mäta korrelation och kovarians: för att t.ex. besvara om de tar ut varandra (vilket [2] antyder).

Det huvudsakliga målet blir sedan att utifrån ovan besvara huruvida NNM är tillförlitlig eller inte.

3.1 Utförda analyser

Grundfall: analys a) med slumpvisa variationer enligt $N(0, 5)$ definieras som grundfall.

a) slumpmässig variation av abonnenters lägeskoordinater

Analysen går ut på att utföra slumpmässiga förändringar på alla lågspänningsabbonenters lägeskoordinater. Inga andra indata ändras under analysen. Varje lågspänningsabbonents geografiska läge definieras av en x- och en y-koordinat. Först körs indata basen omodifierad och utdata sparas (originalvärde i enlighet med *avsnitt 1.2.3*). Slumpmässiga variationer adderas sedan till varje lågspänningsabbonents x- och y-koordinat helt oberoende av varandra med en $N(0, 5)$ -fördelning. En ny körning, denna gång med modifierad databas, görs och utdata sparas. Detta upprepas och totalt 100 gånger modifieras originaldatabasen, helt oberoende av tidigare modifieringar. Variation av utdata mellan dessa körningar studeras sedan och från detta kan slutsatser dras som besvarar frågeställningen. Utöver att studera spridningen av utdata, mätt i *nätnytta* och *debiteringsgrad*, har även *nätnyttans* delar studerats mer specifikt. Bland annat har statistiska analyser gjorts på dessa för att se hur de är korrelerade.

I analyserna har oberoende förändringar av indata införts enligt normalfördelning med väntevärde noll och standardavvikelse fem meter, det vill säga $N(0, 5)$; se även *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp. Standardavvikelse fem meter är enligt teorin ett passande värde eftersom den simulerade variationen endast överskrider myndighetens noggrannhetskrav på 30 meter 1 gång på 65 miljoner simuleringar (se *avsnitt 9.1.5*) vilket aldrig gjordes i denna studie (detta kontrollerades). Samtidigt har standardavvikelse fem meter visat sig vara tillräcklig för att påverka utdata mer än försumbart, så det finns inget mervärde i att vara mindre försiktig i valet av detta. Trots detta utfördes analys med väntevärde 20 meter för två nät, vars resultat sedan jämfördes med analys med väntevärde 5 meter för att undersöka betydelsen av storlek på väntevärde. Valet av 100 simuleringar per analys har ansetts

tillräckligt; redan vid 20 simuleringar började resultatet konvergera och något eventuellt missat extremvärde skulle inte kunna förändra slutsatsen – endast bekräfta den ytterligare. Analys a) är gjord på samtliga nät i Tabell 1, *avsnitt 3.2*.

b) slumpmässig variation av abonnenters årsförbrukning

Varje lågspänningsabonnents årsförbrukning fick en slumpmässig normalfördelad förändring, med väntevärde noll och standardavvikelse 10 % (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp). Inga andra indata ändrades. På övriga punkter är denna analysmetod identisk med a). Validering av analysmetod a) och b) på testnät visade att båda metoderna fungerade väl och att skillnaden i resultatets storleksordning inte var stor. Valet utifrån detta blev att utföra analys a) på fler nät än analys b) eftersom indataförändringarnas storlek i a) kan relateras till myndighetens krav om 30 meters noggrannhet. För nät där både analys a) och b) gjordes jämfördes de båda analysernas resultat. Analys a) är gjord på testnät och Ekerö2 i Tabell 1, *avsnitt 3.2*.

c) ökning av total årsförbrukning

Indatabaserna körs först omodifierade i Netben (originalvärde i enlighet med *avsnitt 1.2.3*). Sedan ändras årsenergin lika mycket enligt en viss procent för alla låg- och högspänningsabonnenter, inmatningspunkter och gränspunkter (ökad förbrukning för abonnenter och ökad tillförsel för gräns- och produktionspunkter). Anledningen till att även inmatningspunkter och gränspunkter, som tillför systemet energi, också ändras är att energibalansen i systemet skall förbli realistisk (om abonnenterna förbrukar mer energi måste naturligtvis mer energi tillföras systemet via gränspunkter eller produktion). Inga andra förändringar i indata görs. Detta görs i steg om 1 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 75 % och 100 % och efter varje körning sparas resultaten. Till sist analyseras alla resultat från samtliga körningar och slutsatser dras. Analysen har gjorts för två nät, Ekerö2003 och Västkusten, samma som i Tabell 1, *avsnitt 3.2*.

d) Jämför resultat från denna studie med två andra studier av känslighet i NNM

Följande har ansetts relevant att ta upp:

- Att sakligt bemöta direkt eller indirekt kritik mot tidigare studie på Fortums nät under sommaren 2005 [1].
- Att jämföra resultaten med denna studie; strider resultaten mot varandra eller är eventuella skillnader logiska?

Energimarknadsinspektionen har skickat in yttranden till Länsrätten för flera nät där en egen beställd studie av NNM refereras [15] och kritik mot [1] kan identifieras. Ett av dessa yttranden har valts att hänvisa till i denna rapport [14], vilket är tillräckligt då kommentarerna om dessa analyser är identiska. Efter detta har en kompletterande känslighetsanalys tagits fram som inkluderar verkliga nät [16] och som därför är extra intressant att jämföra mot denna studie och tidigare utförd studie på Fortum [1].

3.2 Förteckning över tillgängliga elnät för studien

En lista över samtliga elnät som ingått i studien presenteras nedan med tillhörande nyckeltal. Högsta spänningsnivå är medtagen eftersom den sätter en övre gräns för hur många nätnivåer referensnätet kan ha, och tätheten (dvs. kundtäthet) är central då många funktioner i NNM beror på någon form av täthet, dock olika för olika algoritmer (se *avsnitt 1.2.4* för definition). Eldistributionsnäten representerar både mindre och större nät i olika delar av landet och anses ge ett gott urval för att kunna dra generella slutsatser om modellens inverkan. I tabellen anges även vilka analyser som har gjorts på respektive databas i enlighet med de analyser som presenteras i *avsnitt 3.1*.

Tabell 1 – Förteckning över eldistributionsnät som har används i studien

Namn	Lågspännings-abonnenter [antal]	Högspännings-abonnenter [antal]	Täthet * [m/abonment]	Högsta nätnivå	År	Analys
Testnät [1]	19	2	256	2 (22 kV)	-	a,b
Blåsjön	1 601	1	431	2 (22 kV)	2004	a
Ekerö1	12 353	10	90	2 (22 kV)	2004	a
Ekerö2	12 353	10	91	4 (70 kV)	2004	a,b
Ekerö2003	12 353	10	90	2 (22 kV)	2003	c
Kungälv	20 027	17	86	4 (130 kV)	2003	a
Västkusten	111 557	77	109	4 (130 kV)	2004	a,c
Västkusten2003	109 644	79	110	4 (130 kV)	2003	d
Karlskoga	15 951	35	82	4 (130 kV)	2003	a

* se definition *avsnitt 1.2.4*

Data är erhållna från nätägarna och i tabellen anges vilket år data avser. Data avser verkliga kunddata, men då databaserna ständigt uppdateras är 100 % överensstämmelse med version som slutgiltigt godkändes av myndigheten ingen garanti. Denna problematik diskuteras även i *avsnitt 7.3*. Använda databaser i studien har för säkerhets skull arkiverats. Ett testnät har använts i studien vilket även använts inom studien ”Känslighetsanalys av Nättytomodellens indata” [1].

För Ekerö har ett antal olika analyser utförts. Analyser utförda för Ekerö1 och Ekerö2003 är baserade på autentiska databaser för 2004 respektive 2003. Analyser utförda för Ekerö2 däremot har modifierade indata t.ex. har högspänningskunder på 22kV flyttats till nätnivå 3 från nätnivå 2. Summerande har följande data justerats för studien Ekerö2; 8st av högspänningskunderna har flyttats från nätnivå 2 till 3, de två gränspunkterna har flyttats från nätnivå 2 till 4, samt med justering av avgift för anslutning till överliggande nät. Avgifterna behöver justeras, eftersom de beror av spänningsnivå i gränspunkterna. Justering har gjorts för denna studie enligt [18] samt med hänsyn till verkliga förhållanden enligt [17], med resulterande sänkning om 2 531 359 SEK.

3.3 Utförande av analys a) och b)

3.3.1 Detaljerad beskrivning av metod

Nedan presenteras analysen indelad i flera steg. I *avsnitt 3.3.2* beskrivs vilka olika verktyg som har använts för att utföra analysen.

Steg 0: Definiera indata och parametrar för simuleringen K1-K3

- *Identifiera indata för det system som skall analyseras enligt:*
K1 = erfarenhetsdata, vilket motsvarar de databaser som har sänts till EMI för aktuellt eldistributionsnät (se Tabell 1 för använda databaser i denna studie)
- *Avgör indata för:*
K2 = indata som skall modifieras, i detta fall två lägeskoordinater för alla lågspänningsabbonenter (fungerar lika väl för t.ex. årsförbrukning, vilket har gjorts för några av analyserna)
K3 = fördelning för slumpvis förändring av indata; i denna studie för det mesta vald till normalfördelning med väntevärde noll och standardavvikelsen fem meter (se *avsnitt 1.2.5*)

Steg 1: Analysera originalfallet

- *Kör Netben med givna så kallade originaldatabaser (K1)*
- *Spara utdata separat och definiera dessa utdata som: "originalvärden för nätet". Radera sedan Netbens utdatabas.*

Det är detta resultat som myndigheten grundar sina beslut på och är därför intressant att ha att jämföra analysens övriga utfall emot när känsligheten skall uppskattas.

Steg 2: Skapa modifierade indata

- *Addera en förändring enligt K3 för alla indataparametrar som stämmer in på definitionen för K2.*

Steg 3: Kör Netben med modifierade indata

Steg 4: Upprepa analysen enligt steg 2 och steg 3 100 gånger:

Netbens utdatabas skrivs inte över, så utdata behöver inte bearbetas efter varje körning. Däremot sparas inte illustrationen över referensnätets struktur, så om en jämförelse av denna vill göras mellan olika utfall, måste dessa sparas aktivt.

Steg 5: Bearbeta resultat för debiteringsgraden:

Samla in utdata för debiteringsgraden, från alla 100 simuleringar som finns i Netbens utdatabas. Tag utifrån detta fram: en uppskattad sannolikhet för att erhålla olika utfall, maximalt- och minimalt värde samt skillnaden mellan dem.

Steg 6: Bearbeta resultat för nätnyttan:

Samla in utdata för nätnyttan och de kostnadsdelar nätnyttan består av (välj detaljnivå efter behov, i denna rapport presenteras resultatet så att detta val tydligt framgår) från alla 100 simuleringar som finns i Netbens utdatabas. Sammanställ samma information om nätnyttan och dess delar på samma sätt som för debiteringsgraden, exklusive en uppskattning av frekvensfördelning. Beräkna även beroenden (om det anses nödvändigt); exempelvis

respektive dels korrelation och kovarians med debiteringsgraden eller nätnyttan samt varje dels andel i procent av nätnyttan.

Från denna analys skall åtminstone följande slutsatser kunna dras: vad är det som bidrar till eventuell känslighet av *debiteringsgraden*.

Steg 7, bearbeta övriga utdata:

Resultaten från "steg 5" och "steg 6" är tillräckliga för att uppskatta NNM:s tillförlitlighet med avseende på osäkerheter i indata. Däremot går det naturligtvis att studera valfritt antal utdataparametrar, beroende på analysens ändamål.

Exempelvis kan *debiteringsgradens* beroende med tätheten studeras, givet en viss indataförändring eller skillnaden mellan största och minsta värde på NUAk dvs referensnätets nuanskaffningsvärde.

Slutsatser utifrån flera analyser:

Med fördel görs flera analyser, med olika val i "steg 0". Det ger en bättre bild av potentiell känslighet, eftersom alla nät och alla indataförändringar, inte med säkerhet ger samma resultat. Dessutom går det att se om det finns mönster, mellan olika kategorier av nät och det resultat som erhålles i analysen.

3.3.2 Programvara och indatafiler

Programvara och filer från myndigheten

Nätnyttomodellen är implementerad i beräkningsprogrammet Netben. För analyserna i denna studie har version 2004.8 använts. Myndigheten använder programmet för att ta fram resultat om eldistributionsnäten, som sedan besluten om tariffernas skälighet bygger på. Programvaran finns även att tillgå kostnadsfritt, så att exempelvis berörda företag kan uppskatta sitt resultat innan data skickas till myndigheten eller för att kontrollera att myndighetens beräkningar är riktiga med avseende på NNM. Programvaran består av filen Netben.exe och en indatafil: NetNyttan*.mdb (en Microsoft Access-fil).

Indatafilen innehåller minst två databaser som öppnas med Access. Den ena databasen är "DefaultIndata" vilken innehåller myndighetens årligen beslutade parameteruppsättning, och är identisk med den som presenteras i dokumentet: *Beslut parametrar tariffåret 2004* [8]. Parameteruppsättningen bestämmer bland annat de ingående schablonfunktionernas egenskaper och anges per nätnivå. Den andra databasen är "Resultat". Den är från början tom, men efter varje körning av programmet, presenteras och sparas all tillgänglig utdata i den (utom den grafiska). Totalt finns det ca 100 aktiva utdataposter (ytterliggare ca 100 som alltid är 0 eller tomma), dels för alla fyra nätnivåer och dels en summerad för hela nätet. Totalt levererar Netben således ca 500 utdata från varje körning. Exempel på utdata är resultatet som presenteras i denna rapport, exempelvis: *debiteringsgrad*, *nätnytta*, *kvalitetsavdrag* och *överföring*. För analyserna har endast ett fåtal utdata studerats, dels de som myndigheten använder för granskningen och dels de som kan förklara studiens resultat.

Netben har ett grafiskt fönster där det radiella referensnätet presenteras efter varje körning. Det går att välja att; studera hela nätet, eller en enskild nätnivå, studera endast ledningsstruktur eller illustrera några noder (transformatorer, gränspunkter, uttagpunkter eller inmatningspunkter). Det går även att studera ledningslängd och se noders koordinater

och ID-nummer; däremot presenteras inte reservnätet grafiskt. Det är dessa figurer som presenteras i denna rapport t.ex. enligt Figur 5.

Indatafiler från företagen

Indata för det aktuella eldistributionsnätet är en Microsoft Access-fil som innehåller minst två databaser: "GENERALS" och "SUBSCRIBER". GENERALS innehåller både uppgifter som används av Netben i beräkningarna och kontroll- samt kontaktuppgifter om företaget. Kontrolluppgifter är exempelvis verklig ledningslängd, som NNM inte tar hänsyn till, men som kan vara användbart för rimlighetsbedömningar. Uppgifter från GENERALS som används av Netben är avbrottsstatistik och kostnader som kan hänföras till den del av *nätnyttan* som benämns som "fasta kostnader" (exempelvis obligatoriska avgifter till myndighet och överliggande nät). SUBSCRIBER innehåller de data som av myndigheten definieras som "objektiva data" (se *appendix 9.2*, [2] eller [1] där alla objektiva data presenteras). Varje nod (uttagpunkt, inmatningspunkt eller gränspunkt) med objektiva data presenteras på varsin rad. Det är i denna fil slumpmässiga förändringar görs för studiens analyser, dels för den årliga levererade energin [kWh] och dels för de två lägeskoordinaterna.

Användandet av programvara för studien

Alla indatabaser och programvara för att köra NNM har erhållits från företag som ingår i studiens referensgrupp. Analyserna går ut på att köra Netben flera gånger med slumpmässiga förändringar i databasen SUBSCRIBER. När önskat antal körningar för respektive nät är utförda, så samlas önskad indata in och bearbetas från databasen *Resultat*.

För att generera slumpmässiga förändringar har Microsoft Excel 2003 använts. Den eller de kolumner som skall adderas en förändring har kopierats från databasen SUBSCRIBER till ett Excelark (endast de rader som utgörs av data för lågspänningsabonnenter). Excel har funktionen RAND() som genererar ett slumpstal med en U(0, 1)-fördelning (ett tal mellan noll och ett, där alla utfall är lika sannolika). Denna görs sedan om till ett normalfördelat slumpstal med väntevärde noll och med önskad standardavvikelse enligt den approximativa matematiska formeln som presenteras i [10]. Kolumnen med adderad slumpvariabel kopieras sedan tillbaka till SUBSCRIBER. Excel användes även för att sammanställa data: beräkna korrelation (funktionen CORREL()), kovarians (funktionen COVAR()), varians, medelvärden och procentuella avvikelser.

För att presentera resultat har även MATLAB 7.0.4 använts för att illustrera utfall för *debiteringsgraden* som ett histogram (frekvensfördelning), för respektive analys (exempelvis Figur 6). Ibland ändrades referensnätet strukturellt väsentligt mellan simuleringarna. I förekommande fall sparades några exempel (se exempelvis Figur 5) för att presentera skillnaden i rapporten, som ett led i att förklara resultatet. Detta gjordes genom att göra en så kallad "skärmdump" genom att använda "Print Screen", sedan klistra in i "Paint" för att redigera.

3.4 Validering av metod a) och b) genom studie av testsystem

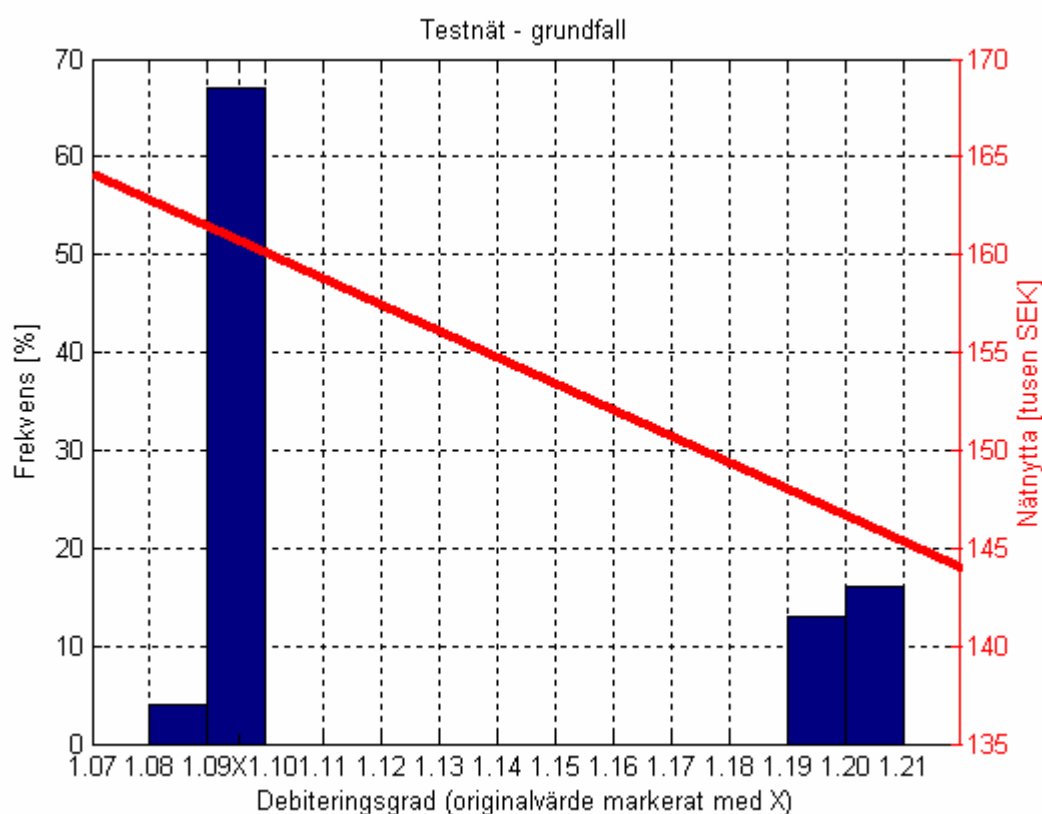
Framtagen metod för analys av känslighet i NNM har validerats genom att utföra analyser på ett testsystem. Testsystemet togs fram vid tidigare studie av Nätnyttomodellen enligt [1]. Resultatet från analys på testsystem är även användbart som ett extremfall för jämförelse mellan stora och små nät.

Testsystemet har 22 noder med 19 lågspänningsabonnenter, 2 högspänningsabonnenter och 1 gränspunkt.

3.4.1 Ändring av lägeskoordinater

I en första analys studeras effekten av slumpmässiga förändringar i noders läge, dvs. i lägeskoordinaterna. Alla noder får en slumpmässig förändring i lägeskoordinater. En avvikelse adderas till x- och y-koordinaterna enligt en normalfördelning, med väntevärde noll och med standardavvikelsen fem meter (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring). Testsystemet implementerades därefter i Netben och utdata antecknades; vilket upprepades 100 gånger.

Debiteringsgrad



Figur 2 – Testnät: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Histogram enligt Figur 2 anger antal gånger *debiteringsgraden* antog olika värden, uppdelat i intervall om 0.01, för 100 simuleringar. Resultatet ger en frekvensfördelningen för *debiteringsgrad* som resultat av slumpmässiga förändringar i indata. I samma figur visas *nätnytta* som funktion av *debiteringsgrad*.

Debiteringsgraden varierade mellan 1,089 och 1,204. *Debiteringsgraden* hamnade aldrig mellan 1,098 och 1,197. Anledningen till två toppar i erhållen frekvensfördelning, är att referensnätet ibland konstrueras med en högspänningsledning som bidrar relativt mycket till *nätnyttan*, men att den inte konstruerades under alla simuleringar på grund av ingående algoritmer i modellen [1], trots liten skillnad i indata.

Tabell 2 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa [enhetslös]	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,095	-
Medel	1,125	2,27
Maxvärde	1,204	9,96
Minvärde	1,089	-0,54

Skillnad mellan maxvärde och minvärde: 0,115 (10,50 % med avseende på originalvärde)

Nätnytta

Nätnyttan varierade med mellan 146 132 och 161 553 svenska kronor (SEK) och motsvarar den summa som NNM anser att nätägaren bör ha som total intäkt. Resultat kan tolkas enligt följande: Givet ett slumpmässigt utfall för testnätet som medför att företaget får ta ut x SEK i intäkt; då är x som mest omkring 15 421 SEK (skillnad mellan max- och minvärde) och i genomsnitt ca 6 456 SEK (standardavvikelse), för högt eller för lågt satt på grund av slumpmässig avvikelse i modellens resultat.

Tabell 3 – Total nätnytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	160 685	-
Medel	156 722	- 2,49
Maxvärde	161 553	0,54
Minvärde	146 132	- 9,06

Skillnad mellan max- och minvärde: 15 421 SEK (9,60 % med avseende på originalvärde)

Standardavvikelse: 6 456 SEK

Nätnyttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del i Tabell 4 redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen; hur stor andel respektive del utgör av total *nätnytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av den totala *nätprestationen*. Nätnivå 1:s *nätprestation* hade en korrelation med nätnivå 2:s *nätprestation* som var 0,993. Om referensnätet blir stort på nätnivå 1, tenderar det att bli stort på nätnivå 2 och tvärtom.

Tabell 4 – Nätnyttans olika delar

Del av nätnyttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nätnytta [%]	Andel av nätprestationen [%]
Nätprest.	51 361	48 814	52 312	41 734	1,9, -18,8	28,6-32,4	100
Nätnivå 1	15 753	15 189	16 317	13 306	3,6, -15,5	8,3-11,0	25,7-38,4
Nätnivå 2	35 607	33 625	36 454	28 264	2,4, -20,6	17,6-24,7	54,4-85,6
Överföring	34 959	33 689	35 278	30 375	0,9, -13,1	20,7-21,9	-
Adm	15 045	-	-	-	-	Ca 9,6	-
Fasta k	60 000	-	-	-	-	Ca 38,4	-
Kvalitetsa.	-680	-826	-620	-1208	77,7, -8,8	(-)0,4-(-)0,8	-

Tabell 5 redovisar ingående delars beroende med varandra, enligt vad som förklaras i avsnitt 9.1.4. I det här fallet samverkar alla delar, vilket innebär att ingen del ”dämpar” förändringar i

nätnytta under gjorda simuleringar. Mest bidrar *nätprestation* till förändringar av total *nätnytta*.

Tabell 5 – analys av vad som bidrar till att nätnyttan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁵ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nätnytta, *)
C(*, N)	177,5	84,7	9,7	271,9
C(*, Ö)	84,7	40,6	4,7	130,0
C(*, K)	9,7	4,7	0,5	14,9
Summan av alla element är lika med <i>nätnyttans</i> varians:				416,8

Övrigt

Abonnenttätthet definieras som det fiktiva referensnätets ledningslängd, delat på antal abonnenter (se avsnitt 1.2.4 för definition). Tätbebyggda områden har ett lågt värde på täthet och tvärtom. Eftersom många algoritmer som räknar ut totala *nätnytta* bestäms av täthetsberoende schablonfunktioner, är täthet en central del av NNM och därmed intressant att studera. Dock använder schablonfunktionerna olika täthet som indata för olika delar i NNM:s beräkningssteg. För denna analys var korrelationen mellan täthet i enlighet med definition i 1.2.4 och *nätnytta* 0,999 (nästan linjärt beroende), trots att algoritmerna använder annat värde på täthet. För verkliga nät ligger denna korrelation på ca -0,6, så detta är inget generellt resultat.

Tabell 6 – Tätheten

	Täthet [m/abbonent]	Avvikelse [%]
Originalvärde	256,31	-
Medel	236,88	-7,66
Max	262,38	2,37
Min	185,98	-27,44

NUAK, står för referensnätets nuanskaffningsvärde, dvs. hur NNM värderar elnätet. I den här analysen var korrelationen mellan NUAK och *debiteringsgrad* -0,999 (i princip linjärt beroende), vilket antyder att de delar av *nätnyttan* som beror på NUAK (avskrivningar mm.) är känsliga för osäkerheter i indata.

Tabell 7 – NUAK

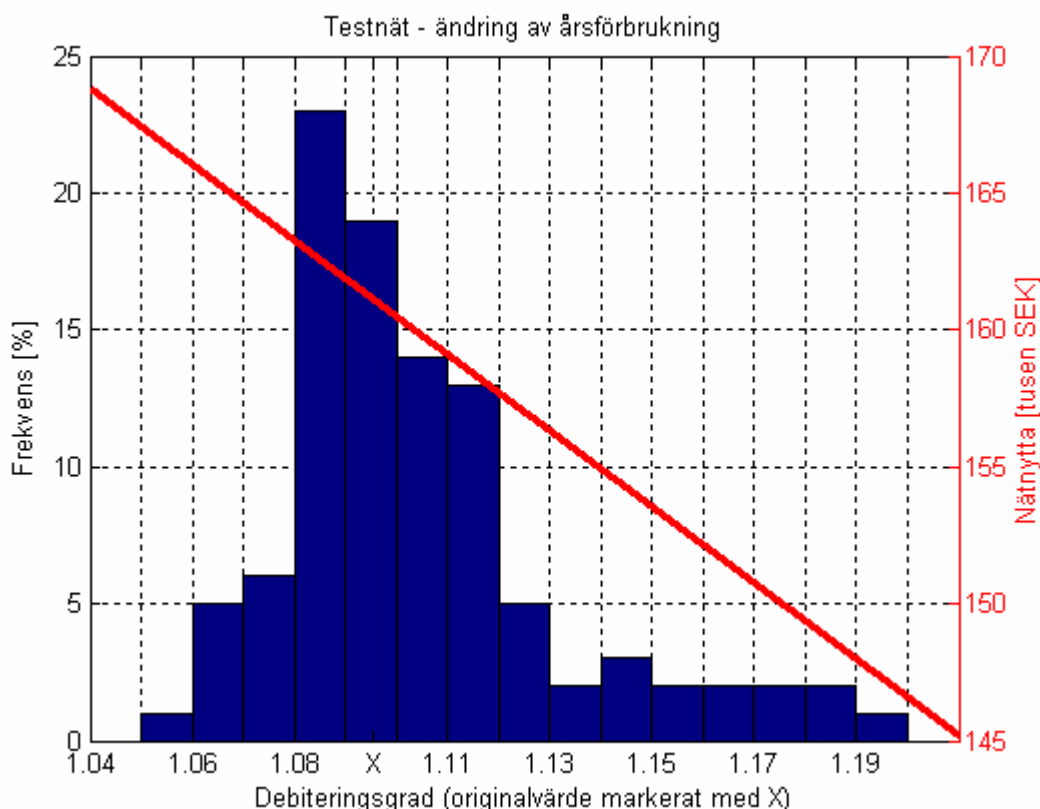
	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	860 870	-
Medel	822 727	-4,48
Max	875 594	1,71
Min	716 312	- 16,79

3.4.2 Ändring av årsförbrukningen

Antag att angiven årsförbrukning för samtliga låg- respektive högspänningsabbonenter erhåller en slumpmässig förändring som är normalfördelad, med väntevärde 0 och med standardavvikelsen 10 %, se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av dessa begrepp. Förbrukningen ändras således med en faktor (1 + X), där X är N(0, 0.10). Inga andra indata ändras. Att intäkterna inte ändras är att se som en förenkling, då intäkterna beror på varje abonnents årsförbrukning. Denna förenkling motiveras av att den inte påverkar resultatet mer än marginellt för verkliga nät: Hur intäkterna är fördelade mellan abonnenterna påverkar inte resultatet alls, endast storleken på summerad intäkt; för normala elnät (1000-tals abonnenter

och mer) kommer den genomsnittliga påverkan för varje abonnent närma sig noll om antalet abonnenter som erhåller en slumpmässig förändring är stor (se till exempel *avsnitt 5.3.3*). För testnätet kan detta dock ha en viss betydelse på resultatet.

Debiteringsgrad



Figur 3 – Testnät: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (ändring av årsförbrukning)

Frekvensfördelning för utfallets resultat blir en helt annan i denna analys, jämfört med när läget ändrades. *Debiteringsgraden* varierar mellan ca 1,05 och ca 1,20. Alla värden mellan max och min verkar kunna erhållas, till skillnad från den förra analysen.

Tre olika sorters strukturer för referensnätet förekom (jämfört med två i förra analysen). Utdata beror till stor del på schablonfunktioner, vilka oftast beror på total årsförbrukning och abonnenttätthet. Under denna analys ändrades både abonnenttätthet och årsförbrukning, vilket kan vara en förklaring till att utfallet blev mindre koncentrerat kring vissa värden när förbrukningen ändrades, jämfört med när endast läget ändrades.

Tabell 8 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa [enhetslös]	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,095	-
Medel	1,104	0,81
Max	1,199	9,45
Min	1,089	-3,31

Skillnaden mellan max- och minvärde är: 0,110 (10,05 % med avseende på original)

Nätnytta

Nätnyttan är inget som kan påverkas av förenklingen att inte ändra intäkterna mellan simuleringarna och är därför lämplig att använda i jämförelsen med föregående analys.

Tabell 9 – Total nätnytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	160 685	-
Medel	159 500	-0,75
Max	166 186	3,42
Min	146 814	- 8,63

Skillnad mellan största och minsta värde: 19 372 SEK, det vill säga 12,06 % med avseende på originalvärde (15 421 SEK för ändring av läge)

Standardavvikelse: 3 955 SEK (6 456 SEK för ändring av läge)

Korrelation med *förbrukning*: 0,620

Korrelation med *abonnenttätthet*: 0,636

Nätnyttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen; hur stor andel respektive del utgör av total *nätnytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av total *nätprestation*. Även korrelationen med *debiteringsgraden* har beräknats i denna analys. Korrelationen mellan de två nätnivåernas *nätprestationer* är -0,478, så de tar delvis ut varandra (annat resultat än i förra analysen).

Tabell 10 – Nätnyttans olika delar

Del av nätnyttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total nätnytta [%]	Andel av nätprestationen [%]	Korrelation
Nätprest.	51 361	50 509	52 607	42 069	2,4, -18,0	28,7-33,6	100	-0,815
Nätnivå 1	15 753	16 204	21 339	13 753	35,5, -14,2	8,8-13,5	30,9-44,7	0,165
Nätnivå 2	35 607	34 305	35 631	28 356	0,1, -20,4	17,3-24,5	55,2-84,7	-0,768
Överföring	34 959	34 694	40 686	29 649	16,4, -15,2	21,7-24,5	-	-0,763
Adm	15 045	-	-	-	-	ca 9,1	-	-
Fasta k	60 000	-	-	-	-	ca 37,6	-	-
Kvalitetsa.	-680	-749	-506	-1 245	83,2, -25,7	(-0,3-(-)0,8	-	-0,052

Nedan redovisas de ingående delarnas beroende med varandra, enligt vad som förklaras i avsnitt 9.1.4. I det här fallet samverkar alla delar, vilket innebär att ingen del ”dämpar” förändringar i *nätnytta* under gjorda simuleringar. Mest bidrar *nätprestationen* till förändringar av total *nätnytta* – men *överföring* står för en större andel jämfört med när lägeskoordinaterna ändrades.

Tabell 11 – Testnät (förbrukning): analys av vad som bidrar till att nätnyttan ändras mellan simuleringar

[*10 ⁵ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nätnytta, *)
C(*, N)	63,3	15,6	0,9 ²	79,8
C(*, Ö)	15,6	61,6	-0,9	76,3
C(*, K)	0,9	-0,9	0,2	0,2
Summan av alla element är lika med <i>nätnyttans</i> varians:				156,3

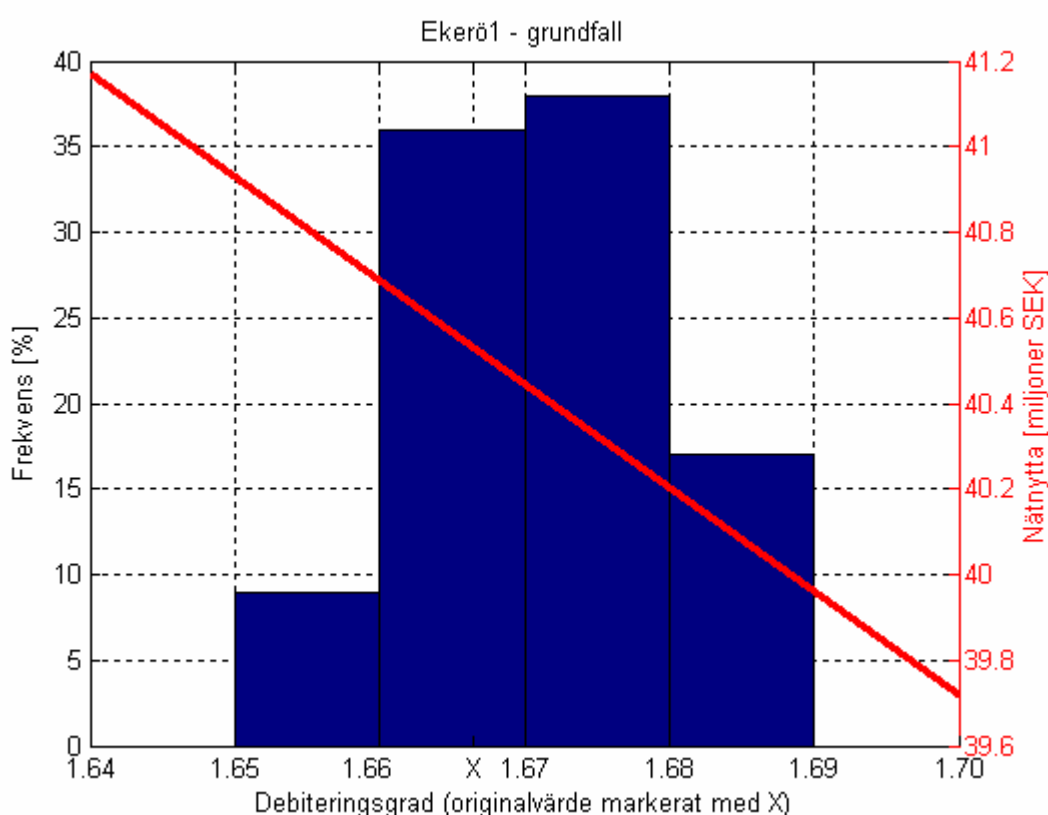
4 Analys a)– grundfall

Detta kapitel presenterar resultat från analys av elnät presenterade i Tabell 1 (resultat från analys av testsystem presenteras i *avsnitt 3.4.1*). Det innebär begränsning gjord till studie av endast förändring i lägeskoordinat och att slumpmässig förändring i lägeskoordinater har gjorts enligt normalfördelning med väntevärde noll och standardavvikelse 5 meter dvs. $N(0,5)$ (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp) samt att 100 simuleringar har utförts.

4.1 Ekerö1

Slumpmässiga förändringar för bägge lägeskoordinater simulerades totalt 100 gånger. Avvikelsena som slumpades fram var normalfördelade, med väntevärde noll och med standardavvikelse 5 meter (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp).

4.1.1 Debiteringsgrad



Figur 4 – Ekerö1: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Resultatet från alla 100 simuleringar presenteras som ett histogram, vilket ger en frekvensfördelning över *debiteringsgrad*. Varje stapel motsvarar ett intervall för *debiteringsgrad* och höjden på stapeln illustrerar med vilken frekvens *debiteringsgraden* erhöll ett värde inom detta intervall under gjorda simuleringar. Exempelvis hamnade *debiteringsgraden* på mellan 1,65 och 1,66 för 9 % av simuleringarna. Originalvärdet är markerat med "X" på x-axeln. I samma figur finns en linje som illustrerar *nätnytta* som funktion av *debiteringsgrad* – dvs. hur maximal intäkt som företaget får ta ut från sina abonnenter varierar mellan simuleringarna. Maximalt skiljer det ca 860 000 svenska kronor (SEK) per år mellan uppmätt min- och maxvärde.

Tabell 12 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa [enhetlös]	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,666	-
Medel	1,671	0,28
Maxvärde	1,688	1,28
Minvärde	1,652	-0,85

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,036

4.1.2 Nätnytta

Nedanstående resultat kan tolkas enligt följande: Givet ett slumpmässigt utfall för Ekerös nät som medför att företaget får ta ut x SEK i total intäkt; då är x som mest omkring 858 309 SEK (skillnad mellan max- och minvärde) och i genomsnitt ca 198 237 SEK (standardavvikelse), för högt eller för lågt satt på grund av slumpmässig avvikelse i modellens resultat.

Tabell 13 – Total nätnytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	40 525 959	-
Medel	40 416 175	-0,27
Maxvärde	40 871 594	0,85
Minvärde	40 013 285	-1,27

Skillnad mellan max- och minvärde: 858 309 SEK, 2,12 % med avseende på originalvärde
 Total standardavvikelse för *nätnytta*: 198 237 SEK

Tabell 14 redovisar värdet för *nätnyttans* olika kostnadsdelar och hur mycket de varierar som effekt av slumpmässig förändring av indata. Tabell 14 presenterar resultat för originalvärde, medelvärde från alla 100 simuleringar, maximalt värde, minimalt värde, och maximal avvikelse från originalvärdet i procent (både uppåt och nedåt). För de delar av *nätnyttan* som är konstanta anges endast originalvärde.

I detta fall utgör *nät prestationen* ca 42 % av total *nätnytta*. I ”Nänyttnomodellen från insidan” [2] finns en sammanställning av hur stor varje del av *nätnyttan* utgör av total *nätnytta* i genomsnitt, baserat på 119 företag med drygt 2,5 miljoner abonnenter enligt: *Nät prestation* 58 %, *Överföringskostnad* 6 %, *Administration* 12 %, *Fasta kostnader* 29 % och *Kvalitetsavdrag* (-)5 %. Resultat i Tabell 14 och motsvarande resultat i kommande analyser kan vara intressant att jämföra mot dessa.

Tabell 14 – Nätnyttans olika delar, delarnas känslighet

Del av nätnyttnan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nätnytta [%]	Andel av nät-prestationen [%]
Nätprest.	17 039 453	16 833 415	17 390 106	16 331 741	2,1, -4,2	40,8-42,5	100
Nätnivå 1	9 449 236	9 537 095	9 619 999	9 430 538	1,8, -0,2	23,2-23,9	54,7-58,3
Nätnivå 2	7 590 217	7 296 320	7 851 434	6 829 450	3,4, -10,0	16,0-19,5	40,3-47,6
Överföring	3 435 344	3 477 907	3 504 443	3 435 344	2,30, -0,0	8,4-8,7	-
Adm	4 076 604	-	-	-	-	Ca 10,0	-
Fasta k	17 189 295	-	-	-	-	Ca 42,5	-
Kvalitetsa.	-1 214 737	-1 161 047	-1 070 522	-1 265 420	4,2, -11,9	(-)2,7-(-)3,1	-

Administration och *fasta kostnader* är konstanta mellan varje simulering, så deras bidrag till *nätnyttans* varians blir alltid noll. Exklusive dessa värden kan *nätnyttan* delas upp i tre delar, vars bidrag till variansen redovisas nedan. I *avsnittet 9.1.4* förklaras underliggande teori för tabellen. *Nät prestationen* ”bidrar” mest till förändringar i total *nätnytta*. *Kvalitetsavdraget*

”dämpar” förändringar för totala *nänytta* (år då *kvalitetsavdraget* är noll, torde *nänyttnan* vara känsligare för osäkerheter i indata) och överföringen bidrar knappt nämnvärt.

Tabell 15 – Ekerö: analys av vad som bidrar till att nänyttnan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁸ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	Summa
C (*, N)	652,2	-13,9	-133,5	504,8
C (*, Ö)	-13,9	1,6	3,0	-9,3
C (*, K)	-133,5	3,0	28,0	-102,5
Summan av alla element är lika med <i>nänyttnans</i> varians:				393,0

4.1.3 Övrigt

Det är nästan 16 miljoner SEK i skillnad, för vad NNM anser att själva distributionsnätet är ”värt” på grund av känslighet i indata. NUAK ligger till grund för att beräkna nätprestationen (bl.a. avskrivningar och underhållskostnader), som är en del av total *nänytta*.

Tabell 16 – NUAK

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	266 571 879	-
Medel	263 413 446	-1,20
Maxvärde	271 813 501	1,97
Minvärde	255 835 868	- 4,03

Skillnad mellan max- och minvärde: 15 977 633 SEK

Debiteringsgraden har ett starkt negativt beroende med tätheten, vilket har sin förklaring i att många av schablonfunktionerna som bestämmer *nänyttnan* beror på täthet, samtidigt som andra parametrar som bestämmer *nänytta* (t ex årsförbrukningen) hålls konstanta under analyserna. Det bör påpekas att det är andra tätheter som används av NNM:s algoritmer (se avsnitt 1.2.4), men en ändrad nätstruktur torde påverka alla tätheter på liknande sätt. Eftersom det är helt olika tätheter som används av NNM i olika steg av beräkningen är det heller inte möjligt att välja en täthet att använda i analysen som är generell för hela beräkningen av *nänyttnan*.

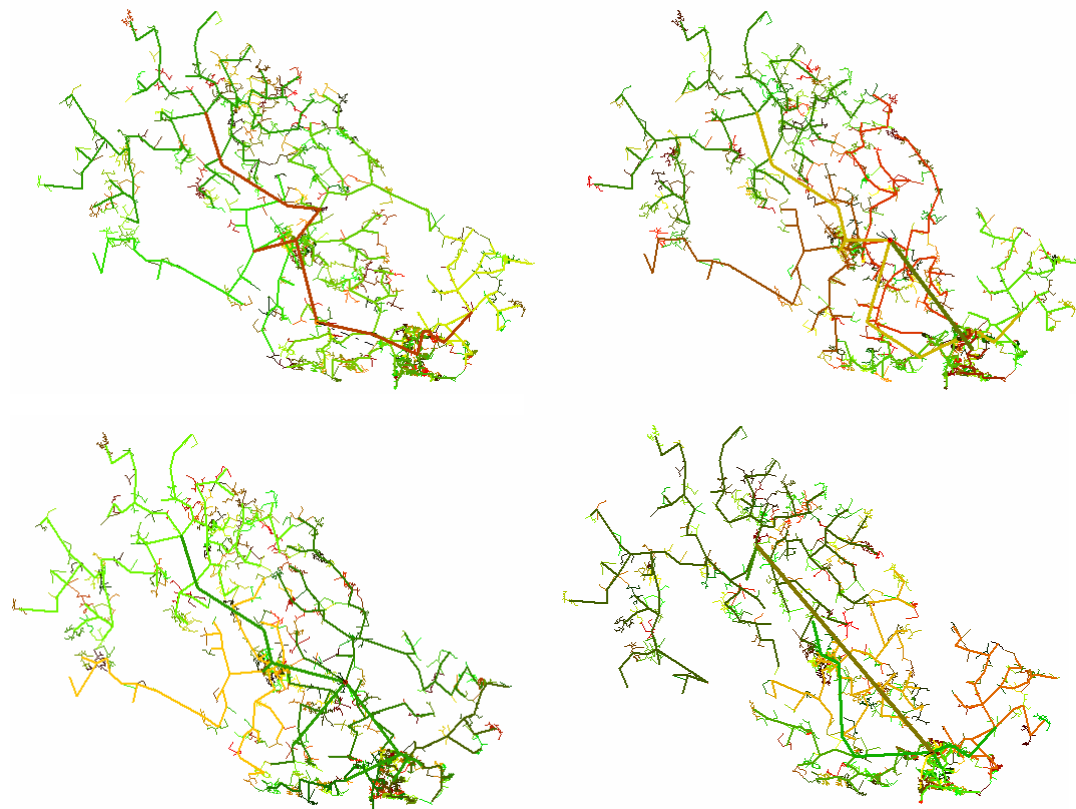
Tabell 17 – Tätheten

	Summa [m/abonment]	Avvikelse [%]
Originalvärde	91,6544	-
Medel	90,9283	-0,80
Maxvärde	93,2638	1,76
Minvärde	88,6234	-3,31

Korrelation med *debiteringsgrad*: -0,906

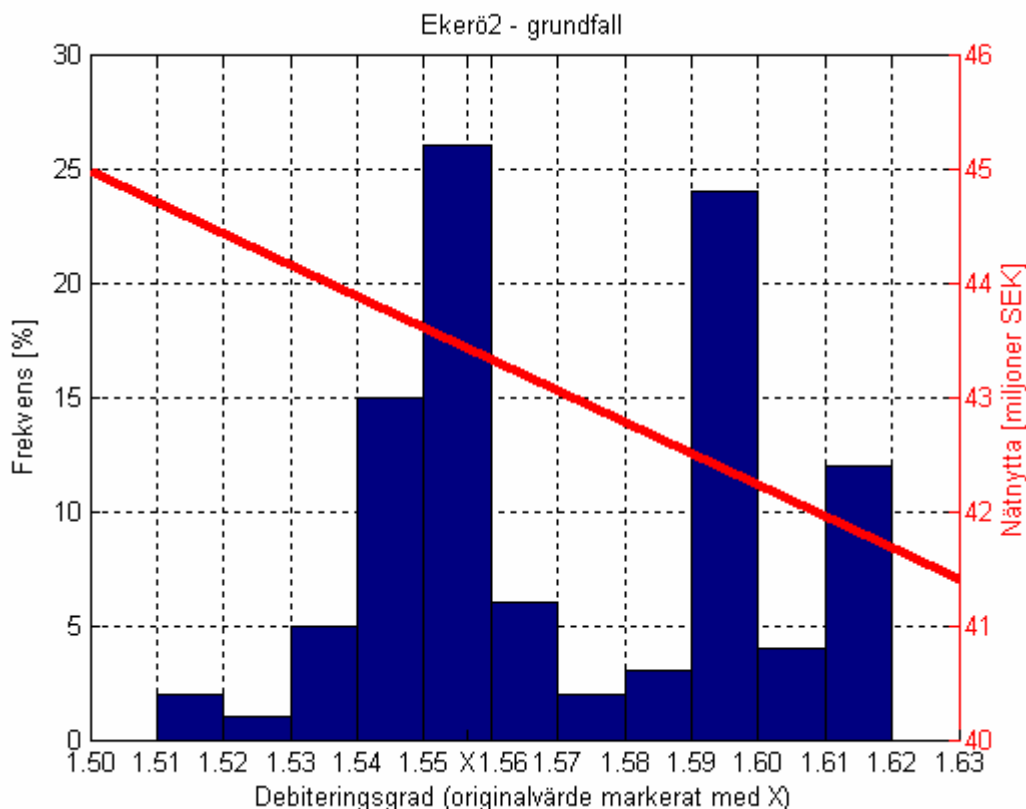
4.2 Ekerö2

På nätnivå 4 erhöles tre typiska utseenden för referensnätet: en längre ledning, en kortare ledning och endast ett ställverk. Figur 5 illustrerar fyra resulterande exempel. (två av dessa med endast ställverk på nätnivå 4, dock skiljer sig nätnivå 3:s nätstruktur mellan dessa två).



Figur 5 – Exempel på referensnät för Ekerö nät som resultat av analysen.

4.2.1 Debiteringsgrad



Figur 6 – Ekerö2: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Resultatet från 100 simuleringar presenteras som ett histogram enligt Figur 6, vilket ger *debiteringsgradens* frekvensfördelning. Varje stapel motsvarar ett intervall för *debiteringsgraden* och höjden på stapeln motsvarar med vilken frekvens *debiteringsgraden* erhöll ett värde inom detta intervall under simuleringarna. Exempelvis hamnade *debiteringsgraden* mellan 1,53 och 1,54 för 5 % av simuleringarna. Originalvärdet är markerat med ett "X" och även *nätnytta* som funktion av *debiteringsgrad* illustreras. Tabellen nedan visar det största och det minsta värdet samt originalvärde och medelvärde från alla simuleringar. Alla procentsatser är med avseende på originalvärdet. På grund av känslighet för små indataförändringar, kan *debiteringsgraden* vara ca 0,1 för lågt eller för högt satt.

Tabell 18 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa (Ekerö2)	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,556	-
Medel	1,572	0,99
Maxvärde	1,619	4,02
Minvärde	1,519	-2,39

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,100 (6,41 %)

4.2.2 Nätnytta

Med två extra spänningsnivåer (och realistiskt förändrade kostnader för överliggande nät), blir tillåten total intäkt per år ca 3 miljoner högre, samtidigt som potentiell variation vid små

indataförändringar blir flera gånger så stor. Resultatet kan tolkas enligt följande: Givet ett slumpmässigt utfall för Ekerös nät som medför att företaget får ta ut x SEK i total intäkt; då är x som mest drygt 2,7 miljoner SEK (skillnad mellan max- och minvärde) och i genomsnitt drygt 0,7 miljoner SEK (standardavvikelse), för högt eller för lågt satt på grund av slumpmässig avvikelse i modellens resultat.

Tabell 19 – Total nänytta

	Summa (Ekerö2)	Avvikelse [%]	Summa (Ekerö1)
Originalvärde	43 388 551 SEK	-	40 388 336 SEK
Medel	42 980 511 SEK	-0,95	40 424 533 SEK
Maxvärde	44 450 288 SEK	2,45	40 768 174 SEK
Minvärde	41 713 106 SEK	-3,86	40 041 662 SEK

Skillnad mellan max- och minvärde: 2 737 182 SEK, 6,31 % med avseende på originalvärde (858 309 kr och 2,12 % för Ekerö1)

Total standardavvikelse för *nänytta*: 728 502 SEK (198 237 för Ekerö1)

Tabell 20 redovisar värdet för *nänytta*s olika kostnadsdelar och hur mycket de varierar som effekt av slumpmässig förändring av indata. Tabell 20 presenterar resultat för: originalvärde, medelvärde från alla 100 simuleringar, maximala värde, minimala värde, och maximal avvikelse från originalvärdet i procent (både uppåt och nedåt); hur stor andel av *nänytta* respektive del utgör samt ingående delar i *nätprestationen*. För de delar av *nänytta* som är konstanta anges endast originalvärde.

Tabell 20 – Nänytta's olika delar

Del av nänytta	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nänytta [%]	Andel av nät-prestationen [%]
Nätprest.	27 549 099	26 592 538	28 980 020	24 285 782	5,2, -11,8	58,2-65,2	100 %
Nätnivå 1	9 428 204	9 542 205	9 635 41	9 428 204	2,2, 0,0	21,5-22,9	33,1-39,3 %
Nätnivå 2	6 607 076	6 581 017	7 179 091	6 419 418	8,7, -2,8	14,7-16,5	22,6-28,0 %
Nätnivå 3	6 614 667	6 463 488	7 662 095	5 614 820	15,8, -15,1	12,9-17,6	19,8-27,8 %
Nätnivå 4	4 897 152	4 005 828	5 855 149	2 385 108	19,6, -51,3	5,5-14,0	8,9-23,9 %
Överföring	3 491 989	3 500 864	3 653 628	3 458 087	4,6, -1,0	7,8-8,4	-
Adm	4 254 677	-	-	-	-	ca 9,6	-
Fasta k	14 654 936	-	-	-	-	ca 34,1	-
Kvalitetsa.	-6 563 150	-6 025 504	-4 947 642	-6 931 139	5,6, -24,6	(-11,8-(-)15,8	-

Administration och *fasta kostnader* är konstanta mellan varje simulering, så deras bidrag till *nänytta*s varians blir alltid noll. Exklusive dessa värden kan *nänytta* delas upp i tre delar, vars bidrag till variansen redovisas i tabellen nedan. I *avsnitt 9.1.4* förklaras underliggande teori för tabellen. I det här fallet bidrar *nätprestationen* till all variation av *debiteringsgraden*, emedan överföringens bidrag är försumbart. *Kvalitetsavdraget* har en dämpande effekt, så om det hade varit noll, hade känsligheten varit större med avseende på små förändringar i indata.

Tabell 21 – Ekerö: analys av vad som bidrar till att nänytta ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C (nänytta, *)
C (*, N)	1 930,6	5,5	-928,3	1 007,8
C (*, Ö)	5,5	0,4	-2,5	3,4
C (*, K)	-928,3	-2,5	450,3	-480,5
Summan av alla element är lika med <i>nänytta</i> s varians:				530,7

4.2.3 Övrigt

NUAK varierar med som mest 64 miljoner SEK, vilket i procent (jämfört med originalvärde) är betydligt mer än för *debiteringsgraden*. Det antyder att delar som inte beror på *NUAK*, har en dämpande effekt på känsligheten. En jämförelse med Ekerö1, visar att antalet nätnivåer har stor betydelse för *NUAK* (ca 50 % högre *NUAK* med fyra nätnivåer än med två).

Tabell 22 – *NUAK*

	Summa [SEK] (Ekerö2)	Avvikelse [%]	Summa [SEK] (Ekerö1)
Originalvärde	407 679 954	-	263 385 011
Medel	394 920 703	-3,16	263 502 563
Maxvärde	427 506 098	4,86	270 272 395
Minvärde	363 354 673	-10,87	256 416 868

Skillnad mellan max- och minvärde: 64 151 425 SEK (15,74 %) (15 977 633 SEK för Ekerö1)

Tätheten varierar mer än *debiteringsgraden* och har en korrelation med denna på -0,530. De flesta nät som har analyserats har en korrelation mellan täthet och *debiteringsgrad* som ligger omkring -0,6.

Tabell 23 – Tätheten

	Summa [m/abonment]	Avvikelse [%]
Originalvärde	91,58	-
Medel	92,19	0,67
Maxvärde	104,44	14,04
Minvärde	90,512	-1,16

4.3 Blåsjön

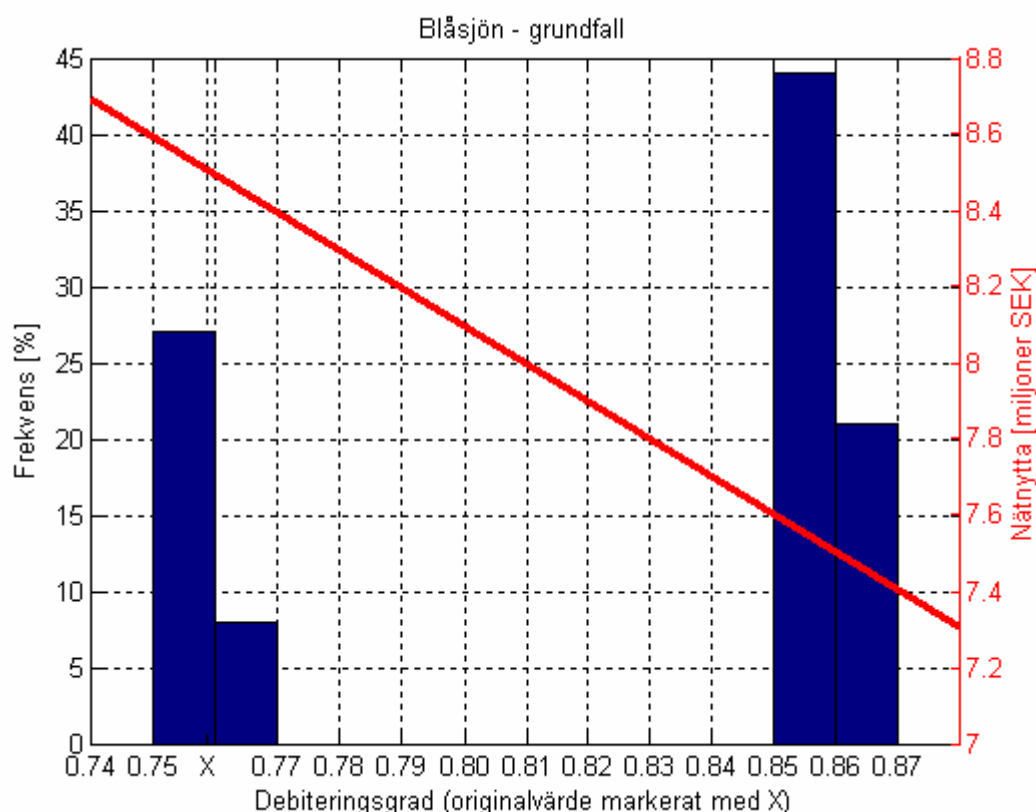
Resultat från analys enligt *grundfall* för Blåsjön gav ett referensnät med endast nätnivå 1 och nätnivå 2. *Debiteringsgraden* antog antingen ca 0,75 eller ca 0,85, men nätstrukturen för referensnätet förblev nästan konstant, vilket illustreras nedan:



Figur 7 – Blåsjön, referensnätets struktur; till vänster med debiteringsgrad 0,76 och till höger 0,86

Trots skillnad i *debiteringsgrad* ser näten i princip identiska ut (enligt figur ovan). Om utdata (från Netben) i detalj studeras går det heller inte att få någon uppenbar förklaring. Varken täthet eller ledningslängd varierar med mer än 1 % mellan simuleringarna (samtidigt som *debiteringsgraden* gör det med 13,83 %). Det som varierar är NUAK för ledningar på nätnivå 2, vilket bidrar till variation för *debiteringsgrad* och *nätnytta*; detta trots att ledningslängden blott skiljer drygt 100 meter på nätnivå 2 för exemplet ovan. Vad som gör att NUAK ”hoppas” mellan två olika kostnadsnivåer för ledningar på nätnivå 2, trots att referensnätet verkar vara i princip oförändrat mellan simuleringarna, ger denna studie inget svar på.

4.3.1 Debiteringsgrad



Figur 8 – Blåsjön: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Frekvensfunktionen för *debiteringsgraden* erhöj två ”toppar”, en vid ca 0,76 och en vid ca 0,86. Näst Västkusten, är Blåsjön känsligast för indataförändringar i enlighet med ”grundfallet”. Blåsjön är det minsta av de verkliga näten som har analyserats och Västkusten är det största, vilket tyder på att det inte finns något samband mellan nätets storlek och dess känslighet i NNM.

Tabell 24 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa	Avvikelse [%]
Originalvärde	0,759	-
Medel	0,824	8,66
Maxvärde	0,863	13,72
Minvärde	0,758	-0,11

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,105 (13,83 %)

4.3.2 Nätnytta

Mätt i SEK, ändrades inte *nätnyttan* mycket jämfört med andra nät som har analyserats, då det jämförelsevis är ett av de mindre näten – men procentuellt var det ett av näten vars *nätnytta* varierade mest. Anledningen till att originalvärdet ligger nära maxvärdet, beror på att frekvensfunktionen endast har två ”toppar” och alla värden måste således hamna i någon av dem.

Tabell 25 – Total nättötta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	8 501 756	-
Medel	7 857 497	-7,65
Maxvärde	8511370	0,11
Minvärde	7476335	-12,06

Skillnad mellan största och minsta värde: 1 035 035 SEK (12,17 %)

Standardavvikelse: 470 235 SEK

Nättöttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen; hur stor andel respektive del utgör av total *nättötta* och hur stor andel varje nättött utgör av total *nättött* – även korrelationen med *debiteringsgraden* presenteras. Den antyder att Nättött 1 inte bidrar så mycket till frekvensfunktionens karaktär; korrelationen mellan de två nättöttarnas *nättött* är -0,211, vilket förstärker denna hypotes.

Tabell 26 – Nättöttans olika delar

Del av nättöttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nättötta [%]	Andel av nättött prestationen [%]	Korrelation
Nättött	8 232 826	7 431 446	8 237 976	6 963 713	0,1, -15,4	93,1-96,8	100	-1,000
Nättött 1	997 885	992 185	1 005 097	974 201	0,7, -3,4	11,5-13,4	11,9-14,4	0,202
Nättött 2	7 234 941	6 439 261	7 239 649	5 983 714	0,1, -17,3	70,4-90,7	72,8-92,6	-1,000
Överföring	459 709	501 109	534 238	459 465	0,1, 16,2	5,4-7,1	-	0,995
Adm	565 234	-	-	-	-	ca 6,6	-	-
Fasta k	194 884	-	-	-	-	ca 2,5	-	-
Kvalitetsa.	-950 897	-835 176	-769 126	-952 015	0,1, -19,1	(-)10,3(-)11,2	-	1,000

I *avsnittet 9.1.4* förklaras underliggande teori för tabellen nedan. I det här fallet bidrar *nättött* till all variation av *debiteringsgraden*, emedan övriga har en viss dämpande effekt.

Tabell 27 – Blåsjön: analys av vad som bidrar till att nättöttan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nättött, *)
C(*, N)	341,1	-16,7	-49,7	274,7
C(*, Ö)	-16,7	0,8	2,4	-13,5
C(*, K)	-49,7	2,4	7,2 ²	-40,1
Summan av alla element är lika med <i>nättöttans</i> varians:				221,1

I *avsnittet 9.1.4* förklaras underliggande teori för tabellen.

4.3.3 Övrigt

En stor variation av NUAKE erhålls från simuleringarna, trots att nätstrukturen inte ändras speciellt mycket (*se Figur 7*).

Tabell 28 – NUAKE

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	124 664 215	-
Medel	112 615 940	-9,76
Maxvärde	124 697 947	0,03
Minvärde	105 607 282	-15,29

skillnad mellan max- och minvärde: 19 090 665 SEK

Tätheten har en viss korrelation med *debiteringsgraden*. Storleksordningen är densamma som för flera andra av näten i denna studie.

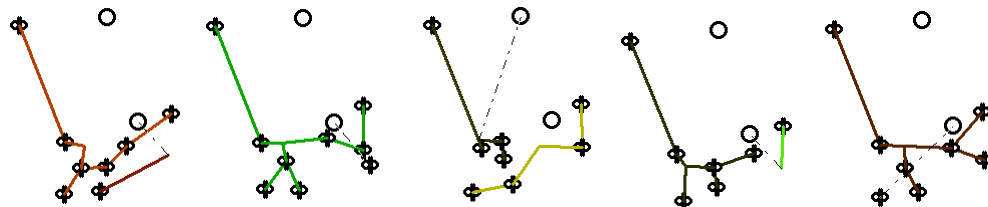
Tabell 29 – Tätheten

	Summa [m/abbonnent]	Avvikelse [%]
Originalvärde	430,9338	-
Medel	431,2766	0,08
Maxvärde	433,5311	0,60
Minvärde	430,3015	-0,15

Korrelation med *debiteringsgraden*: -0,447

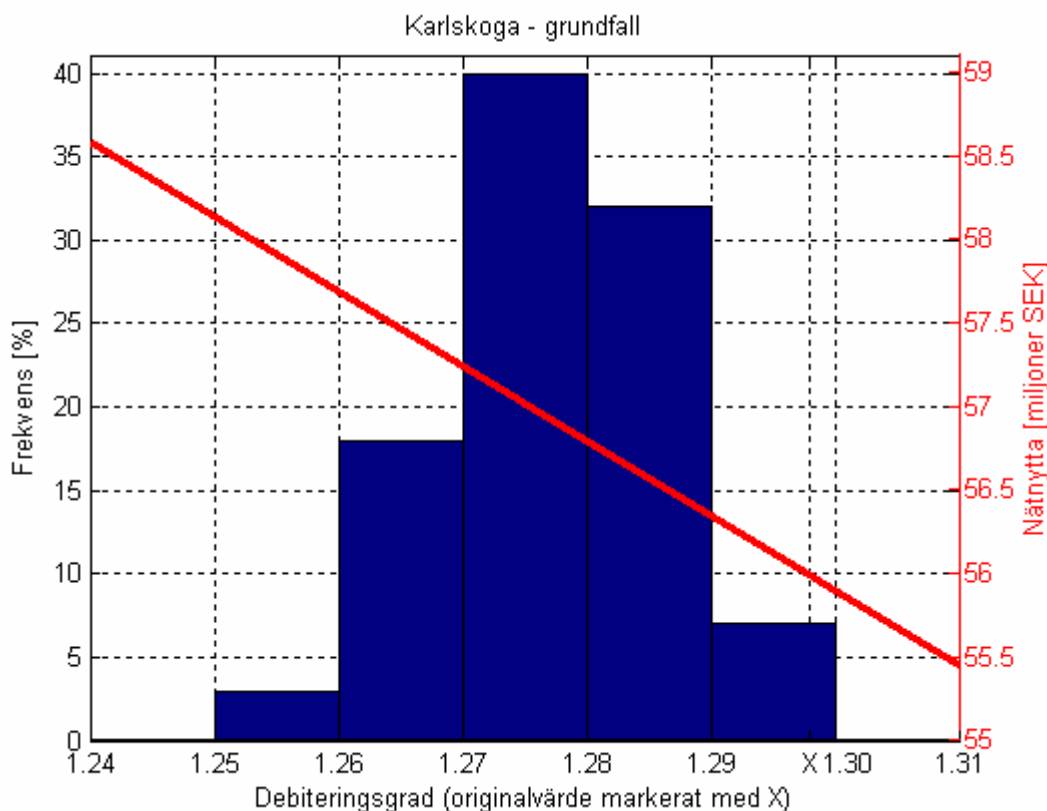
4.4 Karlskoga

Resultat från analys enligt *grundfall* för Karlskoga gav att *debiteringsgraden* antog värden mellan ca 1,25 och ca 1,30. Nätstrukturen för referensnätet antog flera olika utseenden, nedan illustreras några exempel för nätnivå 3:



Figur 9 – Karlskoga, fem exempel på referensnätets struktur för nätnivå 3

4.4.1 Debiteringsgrad



Figur 10 – Karlskoga: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Tabell 30 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,297	-
Medel	1,277	-1,62
Maxvärde	1,298	0,01
Minvärde	1,253	-3,45

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,045 (3,47 %)

4.4.2 Nänytta

Tabell 31 – Total nänytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	55 987 907	-
Medel	56 906 019	1,66
Maxvärde	57 991 040	3,58
Minvärde	55 982 676	-0,01

Skillnad mellan max- och minvärde: 2 008 364 SEK

Standardavvikelse: 384 703 SEK

Nänytten består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen; hur stor andel respektive del utgör av total *nänytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av total *nätprestation*.

Tabell 32 – Nänytans olika delar

Del av nänytten	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nänytta [%]	Andel av nätprestationen [%]
Nätprest.	34 895 536	35 839 650	3 7548 266	34 213 483	7,6, -2,0	61,0-65,0	100
Nätnivå 1	13 476 463	14 118 337	14 257 723	13 395 781	5,8, -0,6	23,5-25,3	36,7-41,1
Nätnivå 2	9 031 401	8 909 699	9 244 814	8 639 924	2,4, -4,3	15,0-16,3	23,3-26,5
Nätnivå 3	9 665 528	10 278 410	12 291 717	8 514 298	27,2, -11,9	15,0-21,7	24,0-24,8
Nätnivå 4	2 722 145	2 533 205	2 739 692	2 138 814	0,6, -21,4	3,7-4,9	5,9-7,8
Överföring	5 804 673	5 952 844	6 242 188	5 801 751	7,5, -0,1	10,2-10,9	-
Adm	5 283 733	-	-	-	-	ca 31,0	-
Fasta k	17 638 483	-	-	-	-	ca 9,1	-
Kvalitetsa.	-7 634 518	-7 808 690	-6 990 644	-8 641 297	13,2, -8,4	(-)12,5-(-)15,0	-

Administration och *fasta kostnader* är konstanta mellan varje simulering, så deras bidrag till *nänytans* varians blir alltid noll. Exklusive dessa värden kan *nänytten* delas upp i tre delar, vars bidrag till variansen redovisas nedan. I avsnittet 9.1.4 förklaras underliggande teori för Tabell 33. I det här fallet bidrar nätprestation till den mesta av *debiteringsgradens* variation. *Kvalitetsavdraget* ger en dämpande effekt på känsligheten, om kvalitetsavdraget vore noll hade *debiteringsgrad* och *nänytta* varierat mer i denna analys.

Tabell 33 – Karlskoga: analys av vad som bidrar till att nänytten ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nänytta, *)
C(*, N)	434,7	11,0	-207,3	238,4
C(*, Ö)	11,0	7,8	-3,1	15,7
C(*, K)	-207,3*	-3,1	104,4	-106,0
Summan av alla element är lika med <i>nänytans</i> varians:				148,1

4.4.3 Övrigt

Tabell 34 – NUAk

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	517 227 151	-
Medel	530 536 549	2,60
Maxvärde	552 855 399	6,89
Minvärde	508 630 608	-1,66

Skillnad mellan max- och minvärde: 44 224 791 SEK

Precis som för de flesta övriga nät ligger korrelationen mellan täthet och *debiteringsgrad* på ca -0,5.

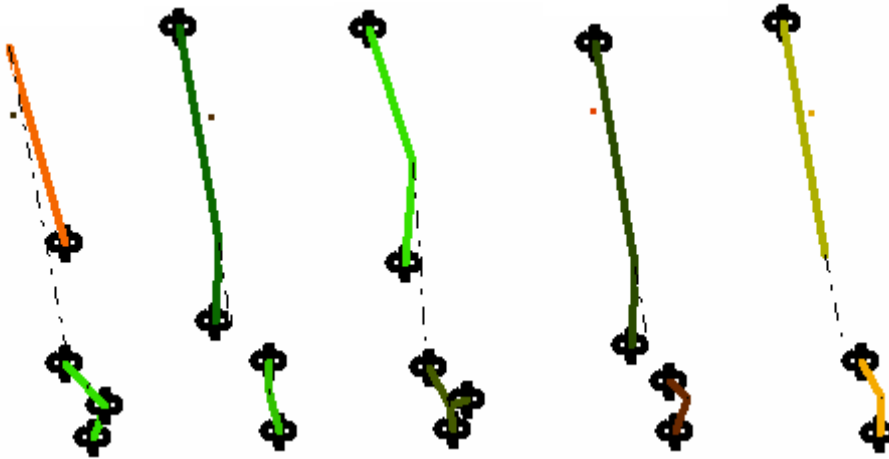
Tabell 35 – Tätheten

	Summa [m/abonnent]	Avvikelse [%]
Originalvärde	81,88	-
Medel	84,02	2,64
Maxvärde	85,20	4,06
Minvärde	81,36	-0,64

Korrelation med *debiteringsgraden*: -0,511

4.5 Västkusten

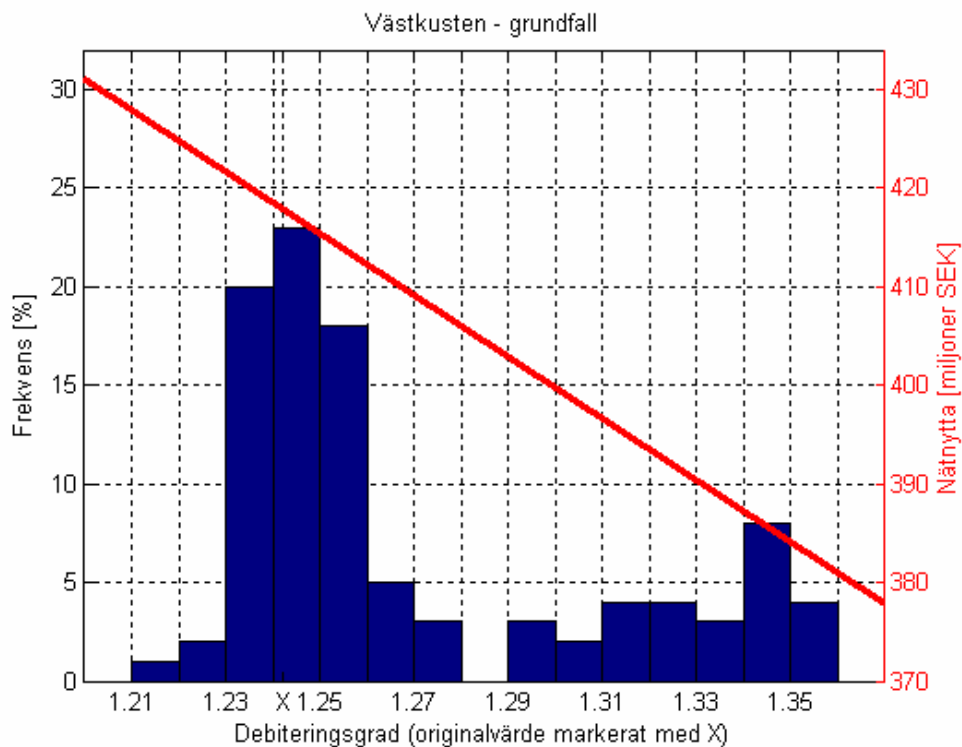
Resultat från analys enligt *grundfall* för Västkustens nät gav en *debiteringsgrad* med värden mellan ca 1,22 och ca 1,36. Nätstrukturen för referensnätet antog flera olika utseenden och det var främst förändringar för nätnivå 4 som bidrog till resultatet. Nedan illustreras några exempel för referensnätet på nätnivå 4:



Figur 11 – Västkusten, fem exempel på referensnätets struktur för nätnivå 4

Skillnaderna ser kanske inte så stora ut, men det som bidrar till den stora skillnaden i resultat är framförallt längden på den streckade linjen. Det är en ledning som förbinder nätet med en gränspunkt och eftersom det är på nätnivå 4 är redundansen 100 %. Som mest innebär detta en skillnad med mer än 20 mil ledning som nätägaren får betalt för på nätnivå 4.

4.5.1 Debiteringsgrad



Figur 12 – Västkusten: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Västkusten är det nät där *nätnytta* och *debiteringsgrad* varierade mest.

Tabell 36 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,242	-
Medel	1,269	2,23
Maxvärde	1,358	9,37
Minvärde	1,220	-1,80

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,138 (11,11 %)

4.5.2 Nätnytta

Tabell 37 – Total nätnytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	417 138 794	-
Medel	408 507 980	-2,09
Maxvärde	424 786 272	1,83
Minvärde	381 413 460	-8,56

Skillnad mellan max- och minvärde: 43 372 812 SEK

Standardavvikelse: 12 526 307 SEK

Skillnaden mellan det största och det lägsta värdet är 43 372 812 SEK. Det kan således skilja ca 43 miljoner SEK i årlig tillåten intäkt beroende på utfallet från Nätnyttomodellen, endast på grund av den känslighet som har testats i analysen. I genomsnitt skiljer det ca 12,5 miljoner mellan två simuleringar (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av standardavvikelse)

Nätnyttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen; hur stor andel respektive del utgör av total *nätnytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av total *nätprestation*.

Tabell 38 – Nätnyttans olika delar

Del av nätnyttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nätnytta [%]	Andel av nätprestationen [%]
Nätprest.	262 732 592	253 836 293	269 813 031	226 412 039	2,7, -13,8	59,4-63,5	100
Nätnivå 1	88 186 669	88 830 176	89 010 144	88 186 669	0,9, 0,0	20,9-23,3	32,9-39,2
Nätnivå 2	60 415 728	59 867 652	61 380 442	58 746 388	1,6, -2,8	14,0-15,9	22,0-26,7
Nätnivå 3	44 297 170	43 536 312	47 527 070	40 444 503	7,3, -8,7	9,5-12,0	15,0-20,0
Nätnivå 4	69 833 024	61 602 153	75 482 713	35 958 330	8,1, -48,5	8,7-19,4	13,7-32,4
Överf.	23 512 309	23 591 710	23 980 628	23 348 319	2,0, -0,7	4,4-6,2	-
Adm	37 088 986	-	-	-	-	ca 8,7	-
Fasta k	136 571 156	-	-	-	-	ca 33,4	-
Kvalitetsa.	-42 766 248	-42 580 166	-42 197 113	-43 027 061	0,6, -1,3	(-)10,0-(-)11,2	-

Administration och *fasta kostnader* är konstanta mellan varje simulering, så deras bidrag till *nätnyttans* varians blir alltid noll. Exklusive dessa värden kan *nätnyttan* delas upp i tre delar, vars bidrag till variansen redovisas nedan. I avsnittet 9.1.4 förklaras underliggande teori för Tabell 39. I det här fallet bidrar nätprestationen till all variation. Övriga delar ger en viss dämpande effekt på känsligheten.

Tabell 39 – Västkusten: analys av vad som bidrar till att nätnyttan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nätnytta, *)
C(*, N)	158 943,0	-411,3*	-656,8	157 874,9
C(*, Ö)	-411,3	18,7	22,6	-370,0
C(*, K)	-656,8	22,6	37,7	-596,5
Summan av alla element är lika med <i>nätnyttans</i> varians:				156 908,4

4.5.3 Övrigt

Tabell 40 – NUAK

Nätnyttomodellen värderar det totala nätet med som högst ca 0,644 miljarder SEK skillnad beroende på att modellen är känslig för små förändringar i indata.

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	3 958 531 988	-
Medel	3 824 298 703	-3,42
Maxvärde	4 060 139 919	2,57
Minvärde	3 416 347 331	-13,70

Skillnad mellan max- och minvärde: 643 792 588 SEK

Tätheten har en liten variation relativt analysresultaten från andra nät i denna studie, trots att Västkusten är det nät som är mest känsligt för osäkerheter i indata. Korrelationen med *debiteringsgraden*, är i samma storleksordning (ca -0,5) som för många andra nät.

Tabell 41 – Tätheten

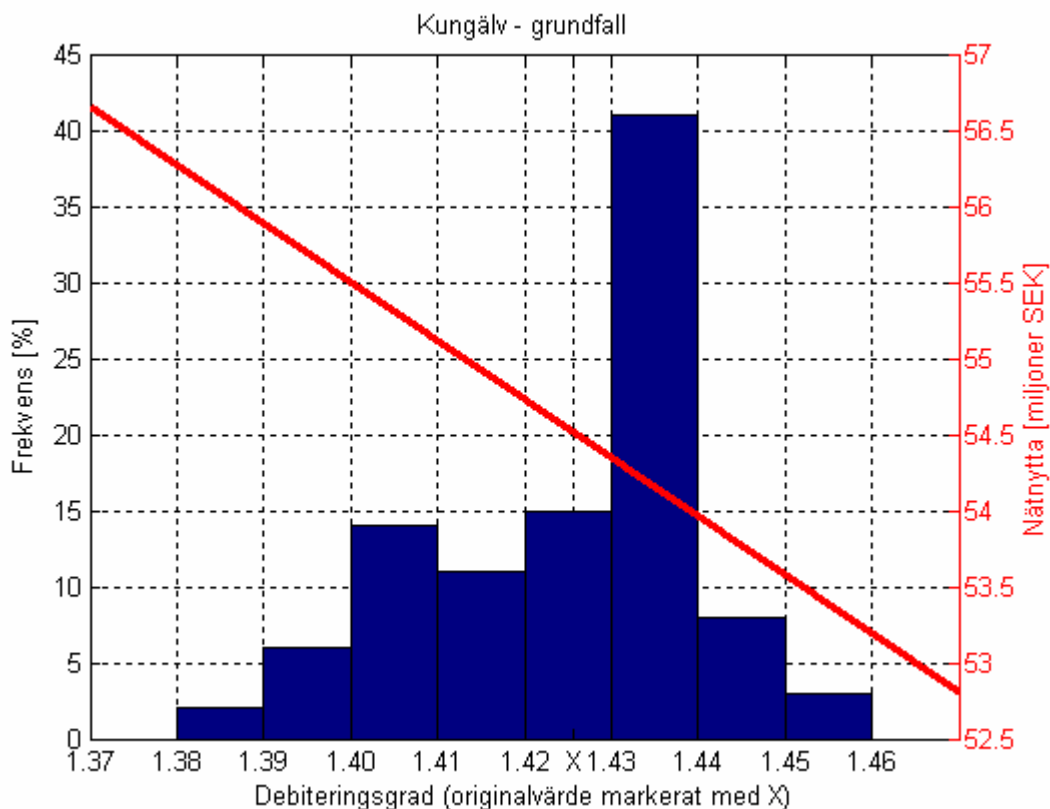
	Summa [m/abonnent]	Avvikelse [%]
Originalvärde	108,9	-
Medel	108,5	-0,37
Maxvärde	110,3	1,29
Minvärde	106,3	-2,38

Korrelation med *debiteringsgrad*: -0,511

4.6 Kungälv

Resultat från analys enligt *grundfall* för Kungälv nät gav en *debiteringsgrad* med värden mellan ca 1,39 och ca 1,46. Nätstrukturen för referensnätet antog flera olika utseenden, både för nätnivå 3 och 4.

4.6.1 Debiteringsgrad



Figur 13 – Kungälv: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (grundfall)

Tabell 42 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa	Avvikelse [%]
Originalvärde	1,426	-
Medel	1,425	-0,02
Maxvärde	1,458	2,26
Minvärde	1,389	-2,60

Skillnad mellan max- och minvärde: 0,069 (4,85 %)

4.6.2 Nätnytta

Tabell 43 – Total nätnytta

	Summa [SEK]	Avvikelse [%]
Originalvärde	54 480 666	-
Medel	54 498 850	0,03
Maxvärde	55 932 981	2,67
Minvärde	53 274 682	-2,21

Skillnad mellan max- och minvärde: 2 658 299 SEK

Standardavvikelse: 608 500 SEK

Skillnaden mellan det största och det lägsta värdet är 2 658 299 SEK. Det kan således skilja ca 2,7 miljoner SEK i årlig vinst/förlust beroende på utfallet från Nätnyttomodellen, endast på grund av den känslighet som har testats i analysen. Att standardavvikelsen är ca 0,6 miljoner betyder att nätnyttan i genomsnitt avviker 0,6 miljoner på grund av osäkerheter i indata (se avsnitt 1.2.5 för mer information om standardavvikelse).

Nätnyttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen. Andelen respektive del av nätnyttan utgör av total nätnytta och hur stor andel varje nätnivå utgör av total nätnyttan redovisas också i tabellen.

Tabell 44 – Nätnyttans olika delar

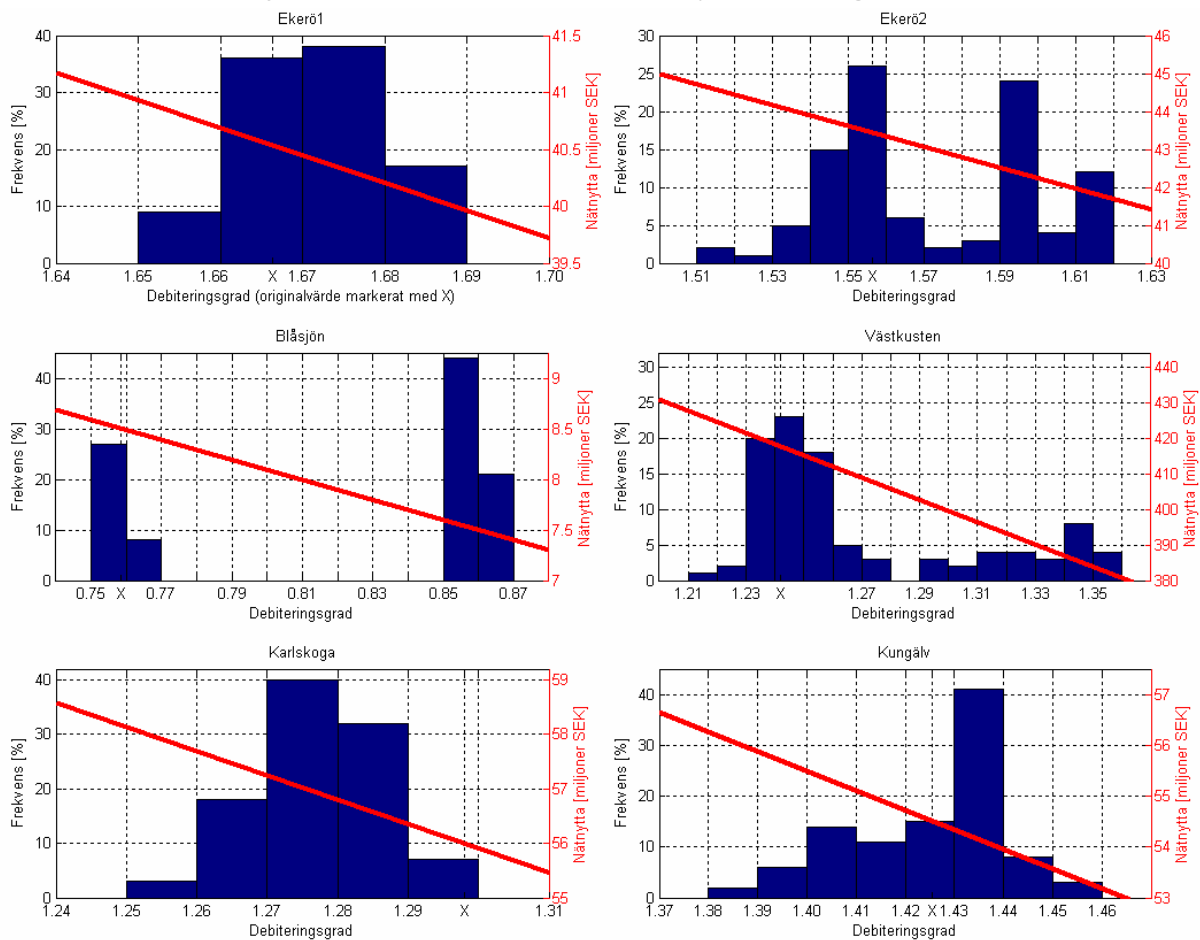
Del av nätnyttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nätnytta [%]	Andel av nätnyttan [%]
Nätnyttan	37 852 466	36 840 669	39 748 135	34 788 213	5,0, -8,1	65,1-71,1	100
Nätnivå 1	13 974 677	15 072 818	15 230 925	13 974 677	9,0, 0,0	25,7-28,4	39,9-43,5
Nätnivå 2	10 114 227	9 847 066	10 336 111	9 408 891	2,1, -7,0	17,0-18,8	24,3-28,5
Nätnivå 3	8 607 469	8 685 524	9 857 603	7 177 717	14,5, -16,6	13,0-18,5	18,8-28,3
Nätnivå 4	5 156 093	3 235 261	5 630 400	2 375 111	9,2, -53,9	4,4-10,2	6,3-14,8
Överf.	4 633 178	4 697 932	4 810 994	4 633 178	3,8, -0,0	8,4-8,9	-
Adm	6 513 486	-	-	-	-	ca 11,6	-
Fasta k	13 932 454	-	-	-	-	ca 25,6	-
K.avdrag	-8 450 918	-7 485 691	-8 947 758	-6 427 839	5,9, 23,9	(-)12,0-(-)16,0	-

Administration och fasta kostnader är konstanta mellan varje simulering, så deras bidrag till nätnyttans varians blir alltid noll. Exklusive dessa värden kan nätnyttan delas upp i tre delar, vars bidrag till variansen redovisas nedan. I avsnittet 9.1.4 förklaras underliggande teori för Tabell 39. I det här fallet bidrar nätnyttan till all variation. Bidraget från överföring (nätförluster) är i princip försumbart och kvalitetsavdraget har en dämpande effekt, det vill säga nätets känslighet med avseende på osäkerheter i indata varit högre om kvalitetsavdraget vore noll.

Tabell 45 – Västkusten: analys av vad som bidrar till att nätnyttan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nätnytta, *)
C(*, N)	1 392,7	1,0	-681,0	712,7
C(*, Ö)	1,0	1,3	-1,5	0,7
C(*, K)	-681,0	-1,5	339,4	-343,2
Summan av alla element är lika med nätnyttans varians:				370,3

4.7 Slutsatser – jämförelse mellan alla analyser med grundfall



Figur 14 – Alla histogram från analyserna med grundfall

I detta kapitel har analysresultat för analys a) i enlighet med grundfall (se avsnitt 3.1) redovisats. Detta är gjort för Ekerö1, Ekerö2, Blåsjön, Karlskoga, Västkusten och Kungälv samt i viss mån även testnätet (Tabell 1). Slutsatserna nedan är numrerade enligt de uppsatta målen för analys a) och b) i kapitel 3:

1. **Uppskatta frekvensfördelningar för debiteringsgrad påverkad av små slumpvisa förändringar i indata.** Utfallet från analyserna resulterar i olika frekvensfördelningar, både när det gäller känslighet och fördelningens utseende vilket Figur 14 visar (detta diskuteras även i avsnitt 2.3). I procent ändras *debiteringsgraden* som mest med ca 14 % (Blåsjön) och i storlek med ca 0,15 (Västkusten). Minst variation för utdata har Karlskoga och Ekerö1, där *debiteringsgraden* aldrig varierar med mer än 0,05. *Nätnyttan* varierar som mest med 43 miljoner SEK och NUAK med ca 650 miljoner.
2. **Undersök om vissa typer av nät är känsligare för indataförändringar än andra och i sådana fall om det finns några trender (t.ex. stora/små, tätort/glesbygd, fördelning mellan nätnivåer etc.).** Resultat visar att nät för vilka *nät prestationen* för nätnivå 4 utgör en stor andel av *nätnyttan*, har en tendens till stor variation i utdata jämfört med andra nät. Däremot för nät som inte har nätnivå 4, har inget samband mellan variation i utdata och storlek på *nät prestation* kunna påvisas (jämför t.ex. Blåsjön och Ekerö1). Eftersom *kvalitetsavdraget* har en motverkande effekt på *nätnytta*, jämfört med *nät prestationen*, blir variationen i utdata för små förändringar högre, de är inget kvalitetsavdrag erhålles. Om alla nät hade haft noll i kvalitetsavdrag hade variationen i utdata varit betydligt högre i vissa fall.

3. Analysera för varje nät resulterande inverkan i utdata för varje specifik del av nätnyttan innefattande:

- **Hur stor andel varje specifik del av nätnyttan utgör.** Andelen (i procent) som varje del av *nätnyttan* utgör av total *nätnytta* är olika för olika nät och ger en viss påverkan på känsligheten (se punkt 2 ovan). Generellt, om *nätnyttan* delas upp i fem delar (se *appendix 9.2*) gäller följande: administration och fasta kostnader är konstanta för den sortens förändringar som har gjorts (utgör ca hälften av *nätnyttan*); överföring är inte konstant, men bidrar endast marginellt till känslighet, emedan nätprestation är den del som bidrar mest – speciellt för högre nätnivåer; kvalitetsavdraget varierar också relativt mycket vid indataförändringar, men motverkar variation för total *nätnytta*.
- **Beroendet mellan resultatet i nätnyttans olika delar genom att mäta korrelation och kovarians: för att t.ex. besvara om de tar ut varandra (vilket [2] antyder).** I de fall som beroendet (korrelationen) mellan nätprestationen för olika nätnivåer har jämförts, har resultatet varierat, vilket tyder på att de både kan samverka och motverka varandra.

5 Analys a) och b) – fördjupad studie för Ekerö nät

En fördjupad studie har gjorts för Ekerö nät. Ekerö nät tillhör ett av de mindre näten i studien, enligt Tabell 1. Området har både inslag av tätort och landsbygd.

5.1 Inledning

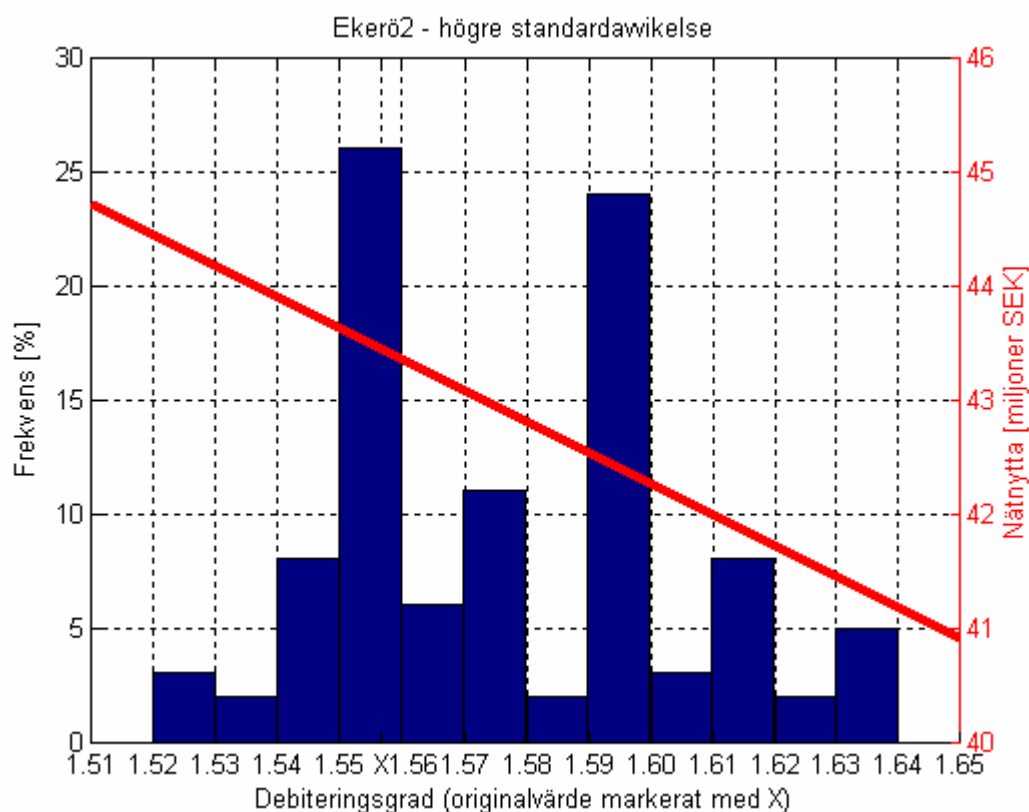
För analys av Ekerö nät har flera olika analyser utförts för att få svar på följande frågeställningar (två av dem presenteras i *kapitel 4*):

1. Vilken betydelse har det att olika antal nätnivåer tillåts skapas (resultatet presenteras i *kapitel 4* eftersom analysmetoden är enligt grundfall)?
 - De indata om Ekerö som har skickas in till myndigheten analyseras först (Ekerö1, enligt Tabell 1). Därefter görs flera analyser på en något modifierad variant av detta nät (Ekerö2, enligt Tabell 1 och definition i *avsnitt 3.2*), som kan erhålla alla fyra nätnivåer.
 - I verkligheten har Ekerö nät tre spänningsnivåer: lågspänning, 11 kV och 22 kV. Av dessa skapar NNM ett referensnät med endast två nätnivåer. Genom att ändra indata, så att det verkliga nätet har nätnivå 4 som högsta spänningsnivå, kan NNM skapa ett referensnät med fyra nätnivåer, se *avsnitt 3.2* för hur data har ändrats och vilka jämförelser som är relevanta.
 - Analysen tar dels reda på skillnad i känslighet, dels skillnad i högsta tillåten tariff (*nätnytta*) mellan nät som har två respektive fyra spänningsnivåer.
2. Hur stor är skillnaden mellan olika val av standardavvikelse (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av standardavvikelse) i ändringen av läge?
 - I ”Nätnyttomodellen från insidan” [2] presenteras resultat från en undersökning med endast en simulering per nät och standardavvikelse. Slutsatsen var att det inte spelade någon roll för känsligheten, vad standardavvikelsen för lägesförändringen var.
 - En känslighetsanalys med standardavvikelse 20 meter jämförs med grundfallet.
3. Vad blir resultatet om årsförbrukningen ändras slumpmässigt istället för läget?
 - Ger förändring av energiförbrukning liknande resultat som förändring av läge?
 - Undersök hur olika delar av *nätnyttan* beror på täthet, respektive energi.
 - Varje lågspänningsabonnents årsenergiförbrukning ändrades slumpmässigt, med normalfördelning som hade väntevärde 0 och standardavvikelse 10 % (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp).

5.2 Ekerö2 – högre standardavvikelse

I det sk *grundfallet* antas en slumpfördelning med väntevärde noll och standardavvikelse fem meter. I detta avsnitt presenteras resultat från en analys, med standardavvikelse 20 meter, men i övrigt samma antaganden som i *grundfallet* (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av begrepp).

5.2.1 Debiteringsgrad



Figur 15– Ekerö2: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (högre standardavvikelse)

En högre standardavvikelse, ger en något ökad påverkan på *debiteringsgraden*, om än inte stor. Värdet varierar inom ett intervall som är knappt 20 % större. I tabellen nedan presenteras både *debiteringsgrad* för denna analys och för *grundfallet*.

Tabell 46 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	DG (standardavvikelse 20 m)	DG (standardavvikelse 5 m)
Originalvärde	1,556	1,556
Medel	1,577	1,572
Maxvärde	1,638	1,619
Minvärde	1,521	1,519

Skillnad mellan maxvärde och minvärde: 0,117 (0,100 med standardavvikelse 5 meter).

En högre standardavvikelse ger en något större känslighet, men inte ett lägre minvärde i detta fall. Att minvärdet inte sänks, kan bero på att de eventuellt nya nätstrukturerna för referensnätet, som en högre standardavvikelse kan leda till, är sådana som ger högre *debiteringsgrad* (i *grundfallet* visades att referensnätet endast antog ett begränsat antal nätstrukturer).

5.2.2 Nätnytta

Ungefär samma resultat som för *debiteringsgrad* när analysresultat jämföres med grundfall.

Tabell 47 – Total nätnytta

	Summa [SEK] (standardavvikelse 20 m)	Summa [SEK] (standardavvikelse 5 m)
Originalvärde	43 388 551	43 388 551
Medel	42 825 351	42 980 511
Maxvärde	44 426 865	44 450 288
Minvärde	41 231 487	41 713 106

Skillnad mellan största och minsta värde: 3 195 378 SEK

(2 737 182 SEK med standardavvikelse 5 meter)

Standardavvikelse: 765 807 SEK (728 502 SEK med standardavvikelse 5 meter)

Nätnyttan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen. Andelen respektive del av *nätnyttan* utgör av total *nätnytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av total nätprestation anges också. Som Tabell 48 visar är det de två högre nätnivåerna som varierar mest mellan simuleringarna.

Tabell 48– Nätnyttans olika delar

Del av nätnyttan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nätnytta [%]	Andel av nät- prestationen [%]
Nätprest.	27 549 099	26 291 684	28 792 091	23 273 630	4,5, -15,5	56,4-64,8	100
Nätnivå 1	9 428 204	9 514 326	9 593 527	9 428 204	1,75, 0,0	21,5-23,2	33,1-41,1
Nätnivå 2	6 607 076	6 440 524	6 714 551	6 258 260	1,6, -5,3	14,3-15,8	22,2-28,0
Nätnivå 3	6 614 667	6 294 356	7 586 062	4 798 093	14,7, -27,5	11,2-18,0	17,6-31,1
Nätnivå 4	4 897 152	4 042 479	5 924 164	2 348 530	21,0, -52,0	5,4-13,8	8,5-23,2
Överföring	3 491 989	3 541 923	3 578 721	3 491 989	2,5, 0,4	8,0-8,6	-
Adm	4 254 677	-	-	-	-	ca 9,6	-
Fasta k	14 654 936	-	-	-	-	ca 34,2	-
Kvalitetsa.	-6 563 150	-5920869	-4502755	-6 563 150	4,1, -31,4	(-)10,9-(-)15,6	-

Nätprestationen bidrar mest till *nätnyttans* totala varians; bidraget från överföringen är försumbar och kvalitetsavdraget har en dämpande effekt. I avsnitt 9.1.4 förklaras underliggande teori för tabellen.

Tabell 49 – Ekerö (20 m): analys av vad som bidrar till att nätnyttan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	Summa
C(*, N)	2 130,8 ²	-2,1	-1 015,8	1 112,9
C(*, Ö)	-2,1	0,2	0,9	-1,0
C(*, K)	-1 015,8	0,9	489,5	-525,4
Summan av alla element är lika med <i>nätnyttans</i> varians:				586,5

5.2.3 Övrigt

Precis som för *debiteringsgraden* är *NUAK* högre, om än i samma storleksordning, jämfört med originalfallet.

Tabell 50 – NUAK

	Summa [SEK] (standardavvikelse 20 m)	Summa [SEK] (standardavvikelse 5 m)
Originalvärde	407 679 954	407 679 954
Medel	390 561 256	394 920 703
Maxvärde	424 608 920	427 506 098
Minvärde	349 474 387	363 354 673

Skillnad mellan max- och minvärde: 75 124 533 SEK (64 151 425 SEK med standardavvikelse 5 meter)

Med en högre standardavvikelse varierar tätheten mindre, men den negativa korrelationen till *debiteringsgraden* är högre.

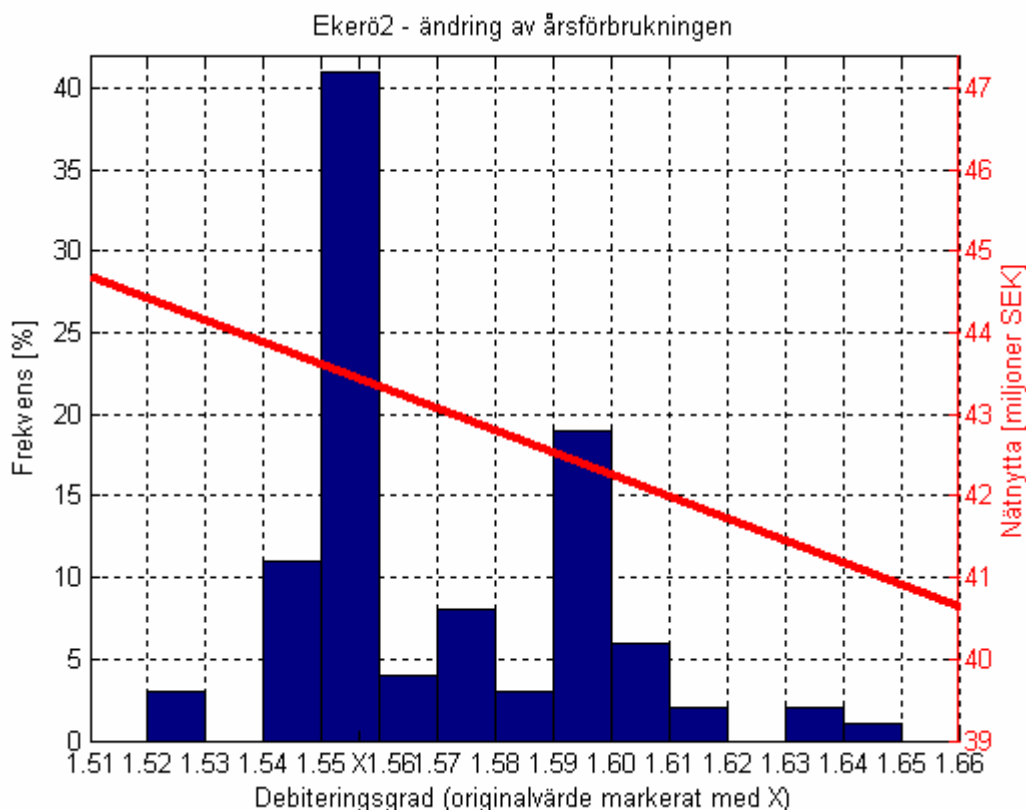
Tabell 51 – Tätheten

	Summa [m/abonment] (standardavvikelse 20 m)	Summa [m/abonment] (standardavvikelse 5 m)
Originalvärde	91,58062	91,58062
Medel	94,37744	92,1919
Maxvärde	96,49275	104,4378
Minvärde	91,58062	90,51716

Korrelation med *debiteringsgrad*: -0,876 (-0,530 med 5 meter)

5.3 Ekerö2 – ändring av årsförbrukning

5.3.1 Debiteringsgrad



Figur 16 – Ekerö2: histogram över debiteringsgraden vid 100 simuleringar (ändring av årsförbrukning)

Frekvensfunktionen för *debiteringsgraden* får ett förändrat utseende när årsförbrukningen ändras istället för läget. Känsligheten ökar, med ca 20 %, till ungefär samma nivå som när läget ändrades med väntevärde 20 meter.

Tabell 52 – Debiteringsgrad vid slumpmässiga förändringar av indata

	Summa (förbrukning)	Summa (läge)
Originalvärde	1,556	1,556
Medel	1,570	1,572
Maxvärde	1,641	1,619
Minvärde	1,523	1,520

Skillnad mellan maxvärde och minvärde: 0,119 (0,100 för ändring av läge med väntevärdet 5 meter, ca 20 % större skillnad när årsförbrukningen ändrades istället)

5.3.2 Nätnytta

Tabell 53 – Total nätnytta

	Summa [SEK] (förbrukning)	Summa [SEK] (läge)
Originalvärde	43 388 551	43 388 551
Medel	43 020 623	42 980 511
Maxvärde	44 343 691	44 450 288
Minvärde	41 141 388	41 713 106

Skillnad mellan största och minsta värde: 3 202 303 SEK (2 737 182 SEK för ändring av läge)

Standardavvikelse: 662 735 SEK (728 502 SEK för ändring av läge)

Nänyttnan består av olika kostnadsdelar, vilka har analyserats var för sig. Varje del redovisas med, original-, max- och minvärde samt maximal avvikelse från originalvärde åt båda hållen. Andelen respektive del av *nänyttnan* utgör av total *nänytta* och hur stor andel varje nätnivå utgör av total nät prestation redovisas också. Bidraget från nät prestationen på nätnivå 3 och 4 varierade mest tillsammans med kvalitetsavdraget.

Tabell 54 – Nänyttnans olika delar

Del av nänyttnan	Original [SEK]	Medel [SEK]	Max [SEK]	Min [SEK]	Avvikelse [%]	Andel av total Nänytta [%]	Andel av nät-prestationen [%]
Nätprest.	27 549 099	26 790 950	28 896 010	23 354 481	4,9, -15,2	56,8-65,2	100
Nätnivå 1	9 428 204	9 429 489	9 518 874	9 305 691	1,0, -1,3	21,3-22,9	32,7-40,3
Nätnivå 2	6 607 076	6 635 563	6 894 682	6 374 910	4,4, -3,5	14,8-16,3	23,0-28,5
Nätnivå 3	6 614 667	6 507 548	7 596 561	4 894 536	14,8, -26	11,2-17,7	17,3-28,7
Nätnivå 4	4 897 152	4 218 350	5 882 120	2 390 177	20,1, -51,2	5,5-13,5	8,6-21,9
Överföring	3 491 989	3 483 597	3 513 344	3 442 207	0,6, -1,4	7,8-8,4	-
Adm	4 254 677	-	-	-	-	ca 9,6	-
Fasta k	14 654 936	-	-	-	-	ca 34,1	-
Kvalitetsa.	-6 563 150	-6 166 536	-4 561 465	-6 987 991	6,5, -30,5	(-)11,1-(-)15,8	-

Tabell 55 – Ekerö (ändring av årsförbrukning): analys av vad som bidrar till att nänyttnan ändras mellan gjorda simuleringar

[*10 ⁹ SEK ²]	C(N, *)	C(Ö, *)	C(K, *)	C(nänytta, *)
C(*, N)	1 612,4	3,5	-777,9	838,0
C(*, Ö)	3,5	0,2	-1,8	1,9
C(*, K)	-777,9	-1,8	379,0	-400,7
Summan av alla element är lika med <i>nänyttnans</i> varians:				439,2

I avsnittet 9.1.4 förklaras underliggande teori för tabellen.

5.3.3 Övrigt

Precis som för *debiteringsgraden* och *nänyttnan* är *NUAK* högre, om än i samma storleksordning, jämfört med originalfallet.

Tabell 56 – NUAK

	Summa [SEK] (förbrukning)	Summa [SEK] (läge)
Originalvärde	407 679 954	407 679 954
Medel	397 623 380	394 920 703
Maxvärde	426 350 291	427 506 098
Minvärde	350 905 468	363 354 673

Skillnad mellan max- och minvärde: 75 444 823 SEK (64 151 425 SEK för läge)

Tätheten varierar mindre när årsförbrukningen ändras än för originalfallet. Den negativa korrelationen är större för denna analys än för grundfallet.

Tabell 57 – Tätheten

	Summa [m/abonment] (förbrukning)	Summa [m/abonment] (läge)
Originalvärde	91,58	91,58
Medel	91,47	92,19
Maxvärde	92,93	104,44
Minvärde	89,16	90,52

Korrelation med *debiteringsgrad*: -0,86 (-0,53 för läge)

Tabellen nedan visar att den genomsnittliga årsförbrukningen endast varierar marginellt. Därför torde inte antagandet om att hålla intäkterna från respektive abonnent konstanta kunna påverka analysresultatet då intäkterna är beroende av årsförbrukning. Anledningen till detta är ”stora talens lag” (se *appendix*). Varje abonnent erhåller en slumpvis avvikelse på sin förbrukning som i genomsnitt är noll. Eftersom Ekerö har över 10 000 abonnenter torde den genomsnittliga avvikelsen vara nära noll enligt teorin (jämför exempelvis med genomsnittsvärdet vid många tärningskast).

Tabell 58 – Årsförbrukning i genomsnitt per abonnent

	Genomsnitt [kWh] (förbrukning)	Genomsnitt [kWh] (läge)
Originalvärde	20334	20334
Medel	20336	20334
Maxvärde	20468	20334
Minvärde	20251	20334

Korrelation med *debiteringsgrad*: -0,03

5.4 Slutsatser – fördjupad studie för Ekerö nät

Slutsatserna baseras på resultat från analys a) och b) för Ekerö1 och Ekerö2. Även jämförelse med resultat för testnätet görs för några av slutsatserna. Slutsatserna nedan är numrerade enligt de uppsatta målen för analys a) och b) i *kapitel 3*:

- 1. Uppskatta frekvensfördelningar för debiteringsgrad påverkad av små slumpvisa förändringar i indata.** Förändring i utdata från NNM (exempelvis *debiteringsgrad*) som effekt av slumpmässiga förändringar i indata, ger olika frekvensfördelningar för olika analyser.
 - Att öka standardavvikelsen (se *avsnitt 1.2.5* för förklaring av standardavvikelse) på osäkerheten i indata från fem meter till tjugo meter, medför att *debiteringsgrad* och *nätnytta* varierar med ca 20 % mer mellan simuleringarna.
 - Analysen där abonnenters årsförbrukning ändrades (analys b)) istället för läget (analys a)), gav att *debiteringsgrad* och *nätnytta* varierar med ca 20 % mer mellan simuleringarna jämfört med grundfallet.
- 2. Undersök om vissa typer av nät är känsligare för indataförändringar än andra och i sådana fall om det finns några trender (t.ex. stora/små, tätort/glesbyggd, fördelning mellan nätnivåer etc.).** För testsystemet ändrades ca 20*2 indataparametrar och för Ekerö ändrades ca 12 000*2 parametrar. Ändå blev påverkan på utdata ungefär lika stor för Ekerö2 jämfört med testsystemet. Detta resultat visar att större nät, som erhåller fler förändringar, inte alltid medför högre stabilitet eller tvärtom (se slutsats i *avsnitt 2.2* som bygger vidare på detta). Variationen i *debiteringsgrad* vid små variationer i indata är högre när det finns fyra nätnivåer istället för två, vilket motsvarar ca 3 miljoner SEK per år i förändrad *nätnytta*.
- 3. Analysera för varje nät resulterande inverkan i utdata för varje specifik del av nätnyttan innefattande:**
 - **Hur stor andel varje specifik del av nätnyttan utgör.** Se slutsatser redovisade i *avsnitt 4.7*.
 - **Beroendet mellan resultatet i nätnyttans olika delar genom att mäta korrelation och kovarians: för att t.ex. besvara om de tar ut varandra (vilket [2] antyder).** Resultaten visar att nät som har fler nätnivåer, erhåller en högre total *nätnytta*. Nät med fler nätnivåer är även mindre tillförlitliga med avseende på osäkerheter i indata. *Nätprestationen* bidrar till den största delen av *nätnyttans* varians och speciellt nätnivå 4. *Kvalitetsavdraget* har en dämpande effekt på den totala *nätnyttans* varians, vilket återspeglas i deras negativa kovarians. Om *kvalitetsavdraget* vore noll (vilket är fullt möjligt då avbrotten kan vara låga vissa år), skulle variationen i utdata därför vara högre för Ekerö än vad den är nu.

6 Analys c) – studie av konsekvens vid ökad årsförbrukning

6.1 Inledning

Eldistributionsnät dimensioneras för att klara av en maximal effekt. Nätnyttomodellen uppskattar den maximala effekten för varje lågspänningsabonnenter utifrån årlig rapporterad årsförbrukning [2]. Årsförbrukningen varierar bla beroende på klimatvariationer och förändringar av abonnenters vanor. Det är inte realistiskt att bygga om ett elnät från år till år på grund av olika effektbehov, och därför behövs en inbyggd marginal i systemet för att klara av att möta dessa variationer.

I denna studie utreds hur resultat från NNM ändras med hänsyn till ökning av total årsförbrukning. Variation av årsförbrukning påverkar *nätnyttan*, enligt Ekvation 1. Hur tarifferna påverkas av ökad årsförbrukning varierar mellan nätföretagen och är inte medtaget i denna analys.

6.2 Resultat

Resultat från analys för Västkusten och Ekerö2003 presenteras i Tabell 59 respektive Tabell 60. Varje rad i tabellerna motsvarar olika höjningar av årsförbrukning, och i kolumnen längst till vänster redovisas procentuell ökning av årsförbrukningen jämfört med originalvärde (se *avsnitt 1.2.3* för definition av originalvärde). Resulterande *nätnytta* [SEK] och de tre delar av *nätnyttan* [SEK] som inte är konstanta vid gjorda indataförändringar, redovisas i övriga kolumner (se *appendix 9.2* för hur *nätnyttan* delas in i delar). Resultaten presenteras även som procentvärden utifrån originalvärdet. Figur 17 ger en överblick av hur *nätnyttan* varierar som funktion av ökad årsförbrukning för de två nät som analyserats.

Tabell 59 – Analysresultat vid ökad årsförbrukning för Västkustens nät

Förändring av årsförbr.	Nätnytta [SEK]	Varav nät-prestation	Varav över-föring	Varav kvali-tetsavdrag
0 %	400 431 494 100,00 %	245 674 465 100,00 %	23 670 106 100,00 %	- 42 573 218 100,00 %
+1 %	417 485 902 104,26 %	263 028 043 107,06 %	23 802 425 100,56 %	- 43 004 708 101,01 %
+5 %	417 295 909 104,21 %	263 484 380 107,25 %	24 755 943 104,59 %	-44 604 556 104,77 %
+10 %	391 563 971 97,79 %	238 763 953 97,19 %	25 964 340 109,69 %	-46 824 464 109,99 %
+20 %	431 930 009 107,87 %	280 637 007 114,23 %	28 513 490 120,46 %	-50 880 630 119,51 %
+30 %	436 096 195 108,91 %	287 363 254 116,97 %	30 620 913 129,37 %	-55 548 114 130,48 %
+40 %	443 982 889 110,87 %	297 274 790 121,00 %	32 951 561 139,21 %	-59 903 604 140,71 %
+50 %	448 833 548 112,09 %	304 177 187 123,81 %	35 262 899 148,98 %	-64 266 680 150,96 %
+75 %	451 827 611 112,84 %	310 827 863 126,52 %	41 870 868 176,89 %	-74 531 261 175,07 %
+100 %	449 620 541 112,28 %	305 396 207 124,31 %	47 567 121 200,96 %	-77 002 928 180,87 %

Bidraget från *nät prestationen* ändras inte proportionellt med ökad förbrukning. Det naturliga vore att nätet antingen behövde förstärkas något med ökade krav (att kunna leverera mer energi) alternativt inte behövde ändras om tillräcklig marginal på överföringskapacitet fanns. För *nät prestationen* skulle detta motsvara en svag ökning med ökad förbrukning. Så blev inte fallet, *nät prestationen* kan till och med sjunka vid en ökad förbrukning, det vill säga att nätägaren förväntas bygga ett billigare nät när kunderna efterfrågar mer energi. Denna del av *nätnyttan* har i rapportens andra analyser påvisats kunna vara instabil med avseende på små indataförändringar (se slutsatser *avsnitt 4.7* och *avsnitt 5.4*) och det torde vara denna effekt som gör sig gällande även här.

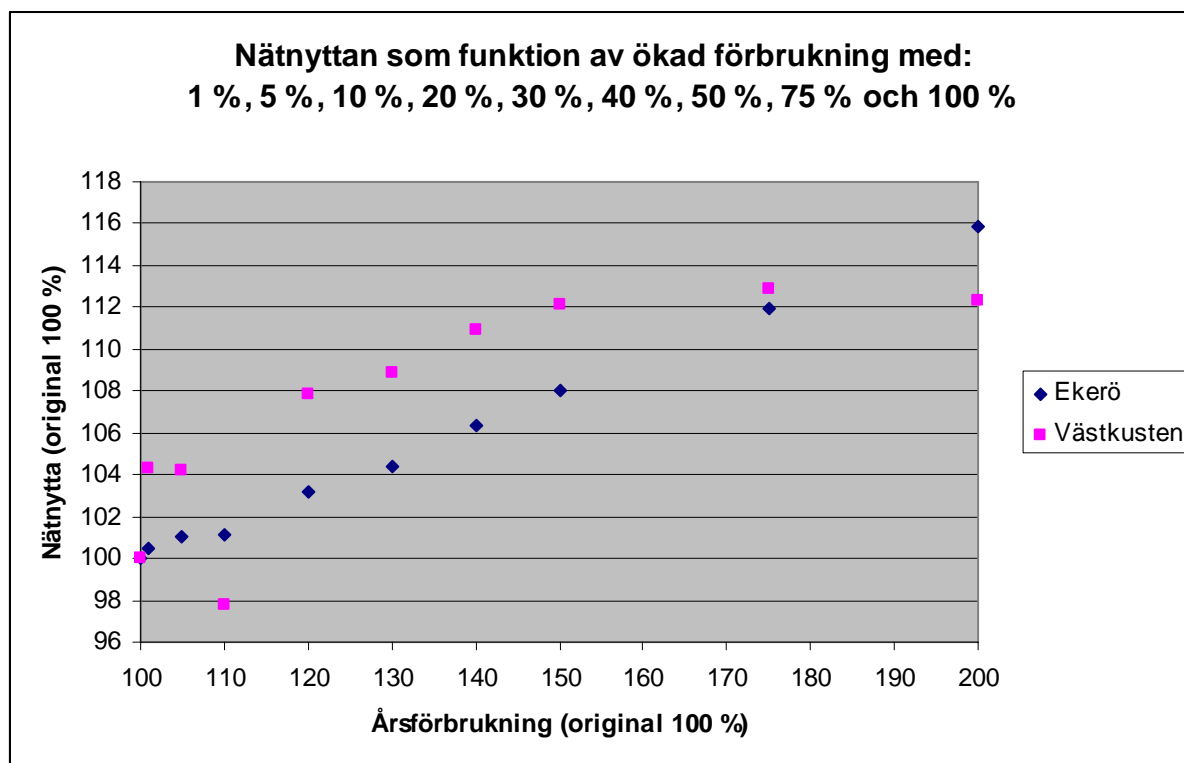
Kostnad för överföring ökar nästan proportionellt med ökad förbrukning. Högre energi ger högre förluster så detta kan ses som ett förväntat resultat. Att ökningen inte är helt proportionerlig har troligtvis att göra med att nätstrukturen inte förblir densamma med ökad energibelastning på systemet. Även kvalitetsavdraget ökar nästan proportionerligt fram till och med energiökningar med omkring 75 %. Att ökningen sedan avtar beror på att taket i kvalitetsfunktionen nås. Förändring i kvalitetsavdrag och överföringskostnad har motverkande effekt på *nätnyttan*.

Tabell 60 – Analysresultat vid ökad årsförbrukning för Ekerö2003 nät

Förändring av årsförbr.	Nätnytta [SEK]	Varav nät-prestation	Varav över-föring	Varav kvali-tetsavdrag
0 %	40 525 959 100,00 %	17 039 453 100,00 %	3 435 344 100,00 %	-1 214 737 100,00 %
+1 %	40 713 832 100,46 %	17 233 243 101,14 %	3 472 965 101,10 %	-1 258 276 103,58 %
+5 %	40 960 983 101,07 %	17 348 118 101,81 %	3 614 546 105,22 %	-1 267 580 104,35 %
+10 %	40 996 652 101,12 %	17 126 529 100,51 %	3 819 801 111,19 %	-1 215 578 100,07 %
+20 %	41 820 235 103,19 %	17 682 464 103,77 %	4 150 284 120,81 %	-1 278 413 105,24 %
+30 %	42 324 060 104,40 %	17 817 714 104,57 %	4 499 556 130,98 %	-1 259 109 103,65 %
+40 %	43 085 063 106,31 %	18 283 445 107,30 %	4 856 995 141,38 %	-1 321 276 108,77 %
+50 %	43 798 398 108,07 %	18 625 614 109,31 %	5 239 615 152,52 %	-1 332 731 109,71 %
+75 %	45 348 836 111,90 %	19 396 152 113,83 %	6 080 258 176,99 %	-1 393 473 114,71 %
+100 %	46 943 019 115,83 %	20 191 210 118,50 %	6 918 342 201,39 %	-1 432 432 117,92 %

Skillnaden i analysresultat för Ekerö2003 jämfört med Västkusten är dels att *kvalitetsavdraget* inte ökar proportionellt med ökad förbrukning för Ekerö2003, dels att *nät prestationen* uppträder mer stabilt för Ekerö2003. Anledningen är att *kvalitetsavdraget* har nått taket och beror då istället på andelen reservkapacitet (som till viss del indirekt beror på energiförbrukning). Att Ekerö även i studiens andra analyser visade sig vara mer stabil för små indataförändringar än Västkusten förstärker hypotesen att det är samma fenomen som

spelar in i denna analys (det vill säga känslighet i algoritmer som tar fram referensnät, för teori om detta se [1]).



Figur 17 – Nätnyttan som funktion av ökad förbrukning för Ekerö2003 och Västskusten

6.3 Slutsatser – studie av konsekvens vid ökad årsförbrukning

- Hur *nätnytta* påverkas av en ökad årsförbrukning går ej att förutsäga även om det finns en tendens att den oftast ökar (men långt ifrån alltid).
- Exempel (Västskusten): Om den totala energiförbrukningen ökar med 1 % eller med 5 % höjs *nätnyttan* med ca 4,25 procentenheter. Vid en ändring med 10 % blir istället *nätnyttan* lägre jämfört med originaldatabasen, för att sedan vid 20 % öka till 8 procentenheter över originaldatabasens värde (10 procentenheter skillnad mellan 10 % och 20 %). Mellan 50 % och 100 % verkar *nätnyttan* ligga på en ganska stabil nivå.
- Slutsatsen blir att det är omöjligt att säga vad som händer om energiuttaget ökar, oavsett om det är med 1 % eller betydligt mer. *Nätnyttan* kan både öka, minska eller vara ganska konstant jämfört med resultatet innan ändringen.
- *Överföringen* (kostnad för förluster) är förutsägbar och ökar proportionellt med ökad årsförbrukning. Samma sak gäller för *kvalitetsavdraget* förutsatt att det är mellan 0 och maximalt *kvalitetsavdrag* (kostnad för reservkapacitet). Dessa två påverkar storleken på *nätnyttan* åt olika håll, vilket dämpar den total effekt på *nätnyttan*.
- Det är *nätprestationens* bidrag till *nätnyttan* som bidrar till en osäkerhet i konsekvensen på resultat i NNM vid en ökad belastning i elsystem. Detta beror på den känslighet som har påvisats i studiens andra analyser (*kapitel 4* och *5*) och vars teori beskrivs i tidigare studie [1].

7 Kommentarer till EMIs känslighetsanalyser, d)

I detta avsnitt utreds de studier som är utförda på uppdrag av EMI för att utreda känslighet i NNM enligt; *Statistisk analys av resultat från Nätnyttomodellen*, av Sveriges provnings- och Forskningsinstitut, [15] och [16]. Dessutom bemöts yttranden baserade på dessa studier i [14] och avslutningsvis bemöts specifik kritik mot studien ”Känslighetsanalys av Nätnyttomodellens indata” 2005, C. J. Wallnerström, L. Bertling, 2005, KTH, på uppdrag av Fortum Distribution [1] (den senare refereras till som Fortumstudien).

7.1 Kommentarer till analysresultat [15] och [16]

Hur förhåller sig myndighetens resultat från analys [15] jämfört med resultat från denna studie?

Kommentarer:

- EMI:s analys är utförd för två testnät och för modifierade versioner av dessa.
- I denna studie har analyser utförts för fem verkliga nät med tillhörande data, ett verkligt nät med modifierad data och ett testnät, vilket ger totalt sju nät. Om även Fortumstudien [1] räknas tillkommer ytterligare verkliga nät med tillhörande data.
- I inlagan [14] drog EMI slutsatsen, med hänvisning till resultat i analys [15], att NNM är stabil med avseende på små variationer i indata.
- Resultat från analyser i denna studie visar på att vissa nät har liknande variationer som för analys [15], samtidigt som analysresultat för andra nät visar på betydligt större variationer, och sammantaget visar resultaten på en icke försumbar instabilitet.
Därmed är skillnader i resultat från studierna inte motsägelsefulla.

Citat från EMI:s yttrande i Mål nr 2079-05, mellan Ystad Energi AB och Energimarknadsinspektionen vid Statens energimyndighet [14]: ”Man synes däremot med sällsynt noggrannhet sökt efter ett antal punkter där små förändringar medför tillsynes orimliga konsekvenser”

Kommentarer:

- EMI konstaterar enligt citatet ovan att Fortumstudiens [1] förändringar medför tillsynes orimliga konsekvenser men försvarar detta med att det i studien söks och funnits sällsynta extremvärden med minimal sannolikhet att inträffa.
- Denna studie visar att de såkallade ”extremvärdena” i själva verket är ganska vanliga.
- **EMI konstaterar därmed att Nätnyttomodellens instabilitet medför orimliga konsekvenser.**

Hur förhåller sig myndighetens resultat från analys [16] jämfört med resultat från denna studie?

Kommentarer (se även kommentarer i avsnitt 7.3):

- Studierna har ett nät gemensamt, Västkusten, dock har inte samma version av databas för indata använts. I EMI:s studie [16] användes 2003 års erfarenhetsdata, och denna studie användes erfarenhetsdata för 2004, se *Tabell 1*.
- Ett exempel på resultat från EMI:s studie [16] för Västkusten är att det (beroende på analysmetod) skiljer upp emot 7 procentenheter mellan max- och minvärde, vilket

uppskattningsvis motsvarar ca 28 miljoner SEK årligen (se t.ex. Figur 12). Motsvarande resultat från denna studie av Västkusten ger drygt 10 procentenheters variation i *nätnytta*, vilket motsvarar drygt 43 miljoner SEK.

- Studierna visar på olika storleksordning i resultat, och även olika statistiska fördelningar på utdata vid känslighetsanalys, beroende på val av indatabas. **Därmed är skillnader i resultat från studierna inte motsägelsefulla.**

7.2 Bemötande av identifierad kritik i yttrande [14]

Alla citat i detta avsnitt är hämtade från EMI:s yttrande i Mål nr 2079-05, mellan Ystad Energi AB och Energimarknadsinspektionen vid Statens energimyndighet, sidorna 24 och 25 [14].

”Tvärtom tenderar de¹ snarare att ta ut varandra, dvs. är anti-korrelerade och inte alls icke positivt korrelerade som påstås i analysen tillhandahållen av Fortum”

Svar:

- Fortumstudien [1] tar inte ställning till korrelationen dvs den visar t.ex. inte på att felen tar ut varandra.
- Denna rapport visar dock att variationer i utdata varken är korrelerade eller anti-korrelerade med avseende på slumpvisa variationer i indata (däremot finns korrelation mellan nätnyttans delar).
- Då ”icke positivt korrelerade” och ”anti-korrelerade” inte motsäger varandra är påståendet icke relevant.

”Det krävs systematik för att kunna dra generella slutsatser. Den analys som nätföretagen tillhandahållit är inte systematiskt gjord”

Svar:

- Slutsatserna i Fortumstudien [1] är försiktigt dragna och visar på vilken variation utdata kan ha givet en viss förändring i indata.
- Fortumstudien [1] gör inte anspråk på att visa hur vanliga fenomenen är eller om de utgör extremfall.
- Denna rapport utför systematisk analys för att stödja generella slutsatser.

”Man synes däremot med sällsynt noggrannhet sökt efter ett antal punkter där små förändringar medför tillsynes orimliga konsekvenser”

Svar:

- Frekvensfördelningarna i denna studie visar att dessa ”punkter” varken är ovanliga eller extrema.
- Ett exempel illustreras av Figur 12, dvs. av resultatet för Västkusten nät. Det är drygt 43 miljoner mellan max- och min nänytta och 0,138 skillnad mellan max- och min debiteringsgrad. Det är inte osannolikt att hamna ganska nära något av extremvärdena.

”I en modell måste dock finnas en viss variation i utdata så länge variationen ligger inom rimliga gränser”

Svar:

- Minst fyra känslighetsstudier av NNM (inklusive denna) är publicerade. Flera resultat ger en generell bild över hur NNM:s resultat kan reagera med avseende på små variationer i indata och teoretisk förklaring har givits i tidigare studie [1].
- Oavsett riktigheten i citatet ovan, visar denna rapport slutsatsen att NNM inte är tillförlitlig med avseende på små variationer i indata, dvs. variationen i utdata anses inte ”ligga inom rimliga gränser”.

¹ Förändring i utdata med avseende på flera slumpvisa förändringar i indata

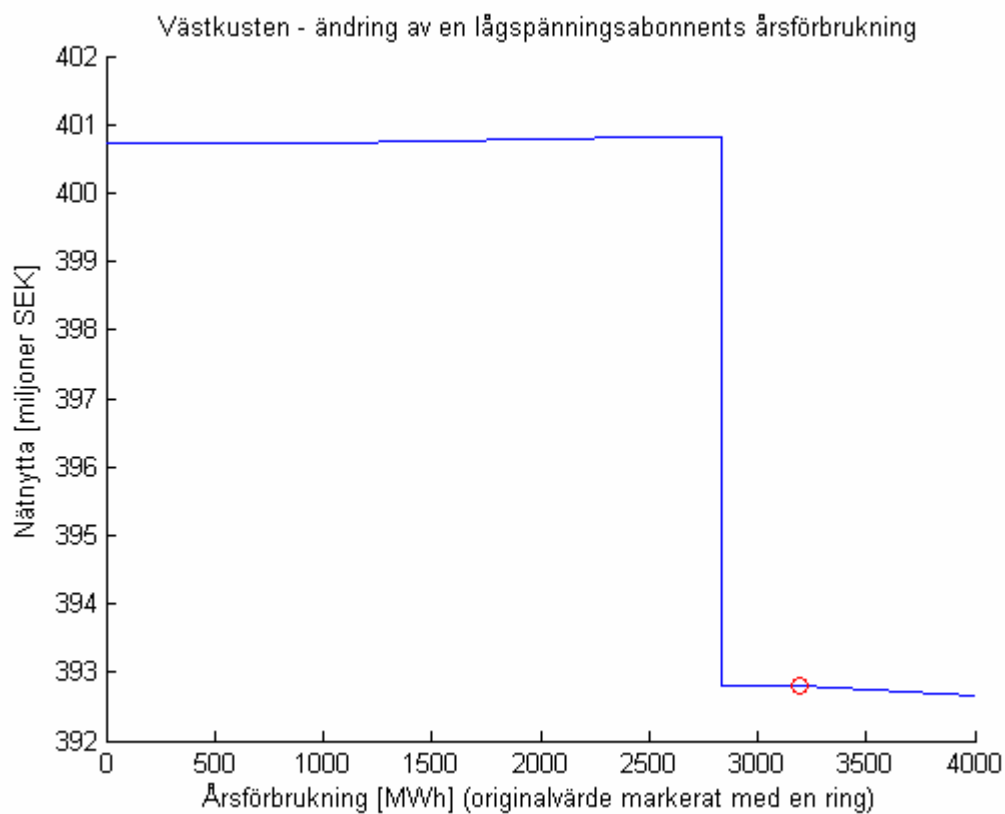
7.3 Bemötande av identifierad kritik i specifik analys [16]

I EMI:s analys [16] (bilaga 11 i inlagan, kapitel 3 ”Projekt – Specifik analys”), erhålles inte samma resultat som i Fortumstudien [1] när en specifik analys i denna återskapas. Förklaringen till detta är att olika versioner av databaser för indata har använts. Tidigare studier i detta arbete har visat att redan små skillnader kan generera olika fiktiva nät i NNM och således också helt olika resultat vid analys, även om identisk metod används i övrigt. Detta har att göra med algoritmerna för att skapa referensnät, vilka beskrivs i Fortumstudien [1]. Det går att utesluta att en databas är identisk med en annan genom att exempelvis jämföra exakt storlek på utdata om programvara och parameterdatabas har samma version.

Själva analyserna i Fortumstudien bedrevs under sommaren 2005 hos Fortum Distribution där databaser tillhandahölls. Fram till myndighetens slutgiltiga godkännande av en inskickad version av 2004 års erfarenhetsdata för Västkusten, fördes en dialog mellan Fortum och EMI och flera versioner av databas skickades in, innan den slutgiltigt godkända skickades in av Fortum [17]. Det bör även påpekas att ingen version av databas stämmer med verklighetens kunder till 100 % (borttagna sekretesskunder, gatubelysning och omätta eluttag samt osäkerheter i indata är några exempel på vad som bidrar till detta). Den version av databas som ankom myndigheten 2005-09-08 existerade inte när analyserna bedrevs under sommaren. Efter samtal med Fortum Distribution [17] har det klargjorts vilket problem det var med olika versioner av databas, speciellt för ett år sedan då NNM var relativt ny och många frågetecken fortfarande inte hade retts ut.

Att jämföra konsekvens vid höjning med 14 990 kWh mot konsekvens vid höjning med 15 000 kWh för ca 1000 slumpvisa lågspänningsabonnenter (vilket också gjordes i analys [16]), bör endast med liten sannolikhet ge betydelsefull skillnad i utdata. Sannolikheten att en ”brytpunkt” för känslighet i utdata skulle ligga precis i det minimala intervallet mellan 14 990 kWh och 15 000 kWh torde vara försvinnande liten även om ”brytpunkten” ligger där i ett specifikt exempel som redovisas i Fortumstudien. Det går således inte att dra några slutsatser från en sådan analys över NNM:s stabilitet.

Ett nytt exempel har tagits fram för att bemöta eventuella tvivel över resultat i Fortumstudien. Denna gång har 2003 års erfarenhetsdata använts för analys av Västkustens nät (dvs. Västkusten2003 enligt Tabell 1). Denna gång har samma analys gjorts på flera versioner av indatabas, med samma resultat – så detta resultat är robust och har därför valts ut bland andra att ta upp som exempel här. Lågspänningsabonnet ”40267404” har en årsförbrukning på 3 192 115 kWh. Analys görs för vad resultatet från NNM blir, både vid en höjning eller en sänkning av årsförbrukning. *Nätnyttan* som funktion av årsförbrukning har tagits fram, se Figur 18. Om årsförbrukningen är på mellan 0 och ca 2 834 050 kWh ligger *debiteringsgraden* på 1,43 och *nätnyttan* ökar svagt med ökad förbrukning, från ca 400,7 miljoner SEK till ca 400,8 miljoner SEK. Om årsförbrukningen är på mellan ca 2 834 100 kWh och 4 000 000 kWh ligger *debiteringsgraden* på 1,46 och *nätnyttan* minskar svagt med ökad förbrukning, från ca 392,8 miljoner SEK till ca 392,7 miljoner SEK. Detta innebär att *nätnyttan* gör ett hopp med ca 8 miljoner SEK om abonnent ”40267404” sänker sin årsförbrukning under ett visst gränsvärde. Det som gör det än mer anmärkningsvärt är att det fiktiva nätet värderas lägre och nätägaren får ta 8 miljoner mindre betalt i intäkter om en abonnent har en hög förbrukning och därmed belastar nätet mer än om årsförbrukningen är lägre.



Figur 18 – Nätnyttan som funktion av årsförbrukning för abonnent ”40267404” för Västkusten2003

Samma abonnent ”40267404” fick sin energiförbrukning ändrad även för andra versioner av denna databas för 2003 års indata. I samtliga fall ändrades *nätnyttan* ca 8 miljoner vid en viss förbrukning, men med skillnaden att värdet på total *nätnytta* skiljde något. Resultatet som sådant verkar således vara robust för versionsskillnader i databas och har därför ansetts som lämpligt att ta med som exempel.

8 Referenslista

- [1] Carl Johan Wallnerström och Lina Bertling, *Känslighetsanalys av Nätnyttomodellens indata*, Institutionen för Elektrotekniska system, KTH, Stockholm, september 2005, A-ETS/EEK-0506.
- [2] Mats B-O Larsson, *Nätnyttomodellen från insidan*, Åhus den 28 februari 2004.
- [3] Lina Bertling, Mats B-O Larsson och Carl Johan Wallnerström, *Evaluation of the customer value of component redundancy in electrical distribution systems*, publicerad vid IEEE PowerTech St. Petersburg, juni 2005.
- [4] Bertling L., *Reliability-centered maintenance for Electric power distribution systems*, doktorsavhandling, Institutionen för Elektrotekniska system, Kungliga Tekniska Högskolan, 2002.
- [5] Mats B-O Larsson, *The Network Performance Assessment Model*, Licentiate Thesis, KTH, Institutionen för Elektrotekniska system, Stockholm, februari 2005.
- [6] Carl Johan Wallnerström, *En jämförande studie av tillförlitlighetsmetoder för elnät – en utvärdering av Nätnyttomodellens tillförlitlighetsmetod*, examensarbete vid Institutionen för Elektrotekniska system, KTH, maj 2005.
- [7] Håkan Hedin mfl, *Energimyndighetens reglering av elnätsföretagens tariffer med Nätnyttomodellen*, Energimarknadsinspektionen, 6 april 2004.
- [8] Statens energimyndighet, www.stem.se, *Beslut parametrar tariffåret 2004*, 2005-03-14
- [9] Gunnar Blom, *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar C*, fjärde upplagan, studentlitteratur 1989, Lund.
- [10] Mikael Amelin, *Om Monte Carlo-simulering och analys av elmarknader*, Doktorsavhandling KTH, Stockholm 2004.
- [11] Statens energimyndighet, *Statens energimyndighets författningssamling*, STEMS 2003:3, 4 juli 2003.
- [12] Gunnar Blom, *Sannolikhetsteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, andra upplagan, Lund, 1984.
- [13] Roland Eriksson, *Leveranssäkerhetskravens inverkan på eldistributionsnätens utformning*, KTH Elektro- och systemteknik, 2006-01-12.
- [14] Energimarknadsinspektionen vid Statens Energimyndighet, *YTTRANDE, Mål nr 2079-05, mellan Ystad Energi AB och Energimarknadsinspektionen vid Statens Energimyndighet, Dnr 7531-04-01298*, Länsrätten i Södermanlands län Rotel 1, 1 september 2006.
- [15] Ragne Emardson och Per Jarlemark, *Sveriges provnings- och Forskningsinstitut, Statistisk analys av resultat från Nätnyttomodellen, Bilaga 10 för yttrande till Länsrätten Mål nr 2079-05*, Borås 2006.
- [16] Ragne Emardson och Per Jarlemark, *Sveriges provnings- och Forskningsinstitut, Statistisk analys av resultat från Nätnyttomodellen: En studie av fyra befintliga nät, Bilaga 11 för yttrande till Länsrätten Mål nr 2079-05*, Borås 2006.
- [17] Olle Hansson, Fortum Distribution, muntlig diskussion, 2006.
- [18] Vattenfall Eldistribution AB, *Regionnätstariffer 2004 Södra tariffområdet*

9 Appendix

9.1 Sannolikhetsteori

9.1.1 Centrala gränsvärdessatsen

Centrala gränsvärdessatsen (CGS) säger att en summa av oberoende likafördelade stokastiska variabler (s.v.) med godtycklig fördelning i regel är ungefär normalfördelad, om antalet komponenter (n) i summan är tillräckligt stort. Definition av CGS lyder enligt följande [12]:

Om X_1, \dots, X_n är en oändlig följd av oberoende likafördelade s.v. med väntevärde m och standardavvikelse $\sigma > 0$ och om $Y_n = X_1 + \dots + X_n$ så gäller att

$$P(a < (Y_n - nm) / \sigma\sqrt{n} < b) \rightarrow \phi(b) - \phi(a) \quad \text{då } n \rightarrow \infty$$

Ekvation 7 Definition av centrala gränsvärdessatsen

$\phi(\cdot)$ är fördelningsfunktionen för en standardiserad normalfördelning

Väntevärdet $E(Y_n) = nm$ och standardavvikelse, $D(Y_n) = \sigma\sqrt{n}$.

En konsekvens av CGS är att den för stora n kan behandla den s.v. Y_n som om den vore approximativt normalfördelad enligt $Y_n \in AsN(nm, \sigma\sqrt{n})$.

Den strikta definitionen kan vara svår att förstå för den som inte har goda kunskaper i sannolikhetsteori. [9] förklarar betydelsen av satsen på följande sätt: ”en summa av oberoende likafördelade stokastiska variabler med godtycklig fördelning är i regel *ungefär* normalfördelad, bara antalet komponenter är tillräckligt stort”.

9.1.2 Stora talens lag

Definition av satsen ”stora talens lag” enligt [9] är: Låt X_1, X_2, \dots, X_n vara oberoende stokastiska variabler, alla med väntevärde m och standardavvikelse σ . Medelvärdet av dessa definieras som: $\bar{X}_n = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$. Oavsett hur litet ε väljs, gäller följande när n går mot

oändligheten: $P(m - \varepsilon < \bar{X}_n < m + \varepsilon) \rightarrow 1$.

Ovanstående sats får konsekvensen att medelvärdet av utfallen från flera oberoende stokastiska variabler, med samma väntevärde, ligger nära detta väntevärde, om antalet utfall är stort; chansen att hamna nära väntevärdet ökar, med antalet oberoende utfall. Observera att det är medelvärdet som kommer att närma sig noll, vilket inte är detsamma som summan från alla bidrag. Vid många simuleringar, kan även en stor summa från bidragen, ge ett medelvärde nära noll, speciellt om varje enskilt bidrag är stort. Antag exempelvis att bidraget från 100 000 förändringar i indata summeras, där bidraget varierar mellan -1 och +1 miljon. Medelvärdet av förändringarna är 10, men summan från förändringarna blir 1 miljon! Antag att det sedan görs en 100 001:a förändring och den bidrar med ytterligare 1 miljon SEK, då blir det totalt 2 miljoner, trots att medelvärdet blir fortsatt lågt.

9.1.3 Beroendemått

Det finns olika typer av beroendemått för att mäta beroendet mellan s.v. Exempelvis är det intressant att studera ifall två s.v. avviker åt samma håll från sina väntevärden eller åt motsatta håll, dvs. om t.ex. avvikelser i indata till NNM kan leda till att fel tar ut varandra eller tvärt om. Detta avsnitt introducerar två typer av beroendemått sk *kovarians* och *korrelationskoefficient*. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till litteratur t.ex. [12].

Kovariansen mellan två stokastiska variabler X och Y definieras enligt [12];

$$C(X, Y) = E[(X - m_x)(Y - m_y)] = E(XY) - E(X)E(Y)$$

där m_x, m_y anger väntevärdet för X respektive Y.

Ekvation 8 Kovarians

Kovariansen blir positiv om det finns ett beroende mellan X och Y sådant att variablerna tenderar att samtidigt avvika åt samma håll från sina respektive väntevärden (på grund av att produkten $(X - m_x)(Y - m_y)$ oftare blir positiv än negativ). Omvänt om variablerna tenderar att avvika åt olika håll från väntevärdena blir *kovariansen* negativ. [12]

För specialfallet att $C(X, Y) = 0$ har man infört termen *okorrelerade*. Speciellt gäller att om X och Y är oberoende så är de *okorrelerade* (observera att omvändning inte alltid gäller).

Ett generellt uttryck för beräkning av *kovariansen* för diskreta kontinuerliga variabler ges av:

$$C(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((x^i - \bar{x}_n)(y^i - \bar{y}_n)), \text{ där } \bar{x}_n \text{ och } \bar{y}_n \text{ är medelvärdet från alla } n \text{ utfall}$$

Ekvation 9 Beräkning av kovarians

Korrelationskoefficienten är nära besläktad med *kovariansen* och definieras som [12]:

$$r(X, Y) = \frac{C(X, Y)}{D(X)D(Y)}$$

Ekvation 10 Definition av korrelationskoefficient

Skillnaden jämfört med *kovariansen* är att *korrelationskoefficienten* är enhetslös och varierar mellan -1 och +1, emedan *kovariansen* kan anta högre belopp. En *korrelationskoefficient* på 0, innebär precis som för *kovariansen*, att variablerna är okorrelerade. Om beloppet av *korrelationskoefficienten* är ett, betyder det ett totalt linjärt beroende åt något håll (bestäms precis som för *kovariansen* av tecknet).

Ett generellt uttryck för beräkning av *korrelationskoefficienten* för diskreta variabler ges av;

$$r_{xy} = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{\sqrt{[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}}$$

Ekvation 11 Beräkning av korrelationskoefficient

9.1.4 Varians för sammansatt s.v.

Utdata från NNM betraktas i denna studie som en sammansatt stokastisk variabel. *Nätnyttan* kan enligt Ekvation 1 brytas ned i ett antal ingående delar. Antag att *nätnyttan* ges av summan av N stokastiska variabler (s.v.) x_i . Ett uttryck för variansen för *nätnyttan* kan därmed generellt skrivas enligt;

$$V(Nätnytta) = \sum_{i=1}^N V(x_i) + 2 * \sum_{1 \leq i < j \leq N} C(x_i, x_j)$$

Ekvation 12 – Uttryck för nätnyttans sammansatta varians

Uttrycket enligt Ekvation 12 kan användas för att uppskatta respektive dels bidrag och påverkan (exempelvis *nätprestation* och *kvalitetsavdrag*) till variansen i *debiteringsgraden*. Nackdelen är att resulterande enhet blir svenska kronor (SEK) i kvadrat, vilket ger en svårighet vid tolkning av resultat.

Ekvation 12 presenteras i tabellform i rapportens resultatdelar. *Nätnyttan* har valts att delas in i fem olika delar, varav två är konstanta, vilket innebär att deras bidrag till varianser och kovarianser alltid är noll. Således används Ekvation 12, med tre olika delar av *nätnyttan*, vilket leder till att $V(nätnyttan)$ är lika med sex olika bidrag (inklusive både varianser och kovarianser) – eller nio om kovarianserna räknas dubbelt, eftersom de multipliceras med två i ekvationen. Nio bidrag kan med fördel skrivas in i en 3*3-matris, med en rad och en kolumn för varje del av *nätnyttan*. Varje bidrag har då placeringen [a, b] i matrisen; där både a och b är ett heltal mellan ett och tre. C(a, b) skrivs in på plats [a, b] och på plats [b, a] i matrisen, två ställen eftersom de multipliceras med två i ekvationen. V(a) skrivs in på plats [a, a] – vilket är logiskt, då sambandet $C(a, a) = V(a)$ gäller. På detta sätt blir summan av matrisens element, ekvivalent med *nätnyttans* varians – precis som för Ekvation 12. Matrisen presenteras som en tabell, där tillägget att varje rad summeras har gjorts. En summa som ger en indikation över varje dels totala bidrag. Tabell 61 illustrerar hur ekvationen presenteras på detta sätt.

Tabell 61 – Illustration över hur nätnyttan kan beskrivas som varians i tre delar

	C(del1, *)	C(del2, *)	C(del3, *)	Summa = C(nätnytta, *)
C(*, del1)	V (del1)	C(del2, del1)	C(del3, del1)	$\sum \text{rad1} = C(\text{nätnytta}, \text{del1})$
C(*, del2)	C(del1, del2)	V (del2)	C(del3, del2)	$\sum \text{rad2} = C(\text{nätnytta}, \text{del2})$
C(*, del3)	C(del1, del3)	C(del2, del3)	V (del3)	$\sum \text{rad3} = C(\text{nätnytta}, \text{del3})$
Summan av alla element är lika med <i>nätnyttans</i> varians:				V (nätnytta)

9.1.5 Generering av slumpmässiga förändringar i indata

Normalfördelning: Normalfördelningen är den mest vanligt förekommande av de generella statistiska fördelningarna. I denna studie används denna fördelning som modell för små slumpmässiga förändringar, med väntevärde noll och med en bestämd standardavvikelse. Detta innebär dels att $P(a) = P(-a)$, dels att medelvärdet av flera slumpmässiga förändringar förväntas vara noll. Standardavvikelsen avgör sannolikheten för att förändringen avviker med mer än ett visst värde från väntevärdet noll; en låg standardavvikelse medför en låg sannolikhet att erhålla en stor förändring och tvärtom.

Ändring av noders läge: En lågspänningsabonnents läge bestäms av en x- och en y-koordinat. Antag att bägge koordinater erhåller en normalfördelad förändring, med väntevärde 0 och med given standardavvikelse angiven i meter. Att abonnenter ändrar läge, slumpvis och oberoende, med storleksordningen några meter torde inte inverka nämnvärt, vare sig på den ”verkliga” nyttan för abonnenten eller för den verkliga kostnaden att driva nätet. Detta, tillsammans med att en avvikelse på upp till 30 meter från det verkliga läget accepteras av myndigheten, gör denna stokastiska förändring extra intressant att använda. Det går att beräkna sannolikheten för att den genererade förändringen överstiger 30 meter, givet standardavvikelsen σ , eftersom felet är normalfördelade:

Absolutbeloppet av de två förändringarnas (x- och y-koordinatens) storlek tillsammans definieras som: $Z = \sqrt{X^2 + Y^2}$, där X och Y är $N(0, \sigma)$. Z^2 / σ^2 är chi2-fördelad med 2 frihetsgrader. Eftersom Z och σ^2 endast antar positiva värden så gäller:

$$P(Z > z) = P(Z^2 / \sigma^2 > z^2 / \sigma^2)$$

Sannolikheten att felet är större än 30 meter, är lika med sannolikheten att en chi2-fördelad slumpvariabel med 2 frihetsgrader är större än $30^2 / \sigma^2$. Denna sannolikhet kan tas fram med hjälp av statistiska tabeller. I detta fall har en Excel-funktion för detta använts: CHIDIST($30^2 / \sigma^2$;2). Nedan presenteras resultatet från den funktionen, för några olika standardavvikelser.

Tabell 62 – Sannolikhet i procent att felet blir större än 30 meter, givet standardavvikelsen σ meter

σ	5	6	7	8	9	10	11
[% >30 m]	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,010	0,088	0,39	1,11	2,43

Om $\sigma = 5$ meter, blir lägesförändringen större än 30 meter, ungefär 1 gång på 65 miljoner simuleringar. Det bör anses vara acceptabelt. Om standardavvikelsen ökar ytterliggare med några meter, höjs denna sannolikhet väsentligt. Under studien för testsystemet (se avsnitt 3.4), gjordes simuleringar, med standardavvikelse 5 meter. Under ca 100 000 simuleringar blev den maximala förändringen aldrig över 30 meter – eller ens i närheten av detta värde, vilket bekräftar resultatet från teorin. Att höja σ ett par meter, innebär att förändringen blir över 30 meter, i genomsnitt, ett par gånger per simulering om nodantalet är i storleksordningen av ett normalt distributionsnät (ca 50 000 lågspänningsabbonenter, ger ca fem lägesförändringar större över 30 meter vid en simulering, med standardavvikelse 7 meter – med standardavvikelse 5 meter dröjer det igenomsnitt över 1000 simuleringar innan, ens ett sådant fel uppkommer). Om 5 meter är tillräckligt för att erhålla önskvärda resultat, bör denna standardavvikelse därför väljas, vilket har gjorts i denna studie.

Ändring av energiuttag i noder: Eftersom det kan vara stor spridning mellan abonnenternas förbrukning, är det bättre att ta ett procentuellt värde på standardavvikelsen, än ett fixt (annars skulle antingen de med lägst förbrukning kunna få en förbrukning under noll, alternativt ändringen vara nära 0 % för dem med störst förbrukning). Om ett stokastiskt fel i förbrukningen, med väntevärde noll, adderas ett mycket stort antal uttagpunkter, bör påverkan på abonnenternas genomsnittliga årsförbrukning bli mycket litet, enligt de stora talens lag. Trots detta är det inte lika självklart att med säkerhet säga att påverkan på indata blir obetydlig, vid den här sortens förändringar, då belastningsmönstret för systemet ändras och få stora uttagpunkter gör att felet inte med säkerhet tar ut varandra lokalt i systemet.

9.2 Nätnyttomodellen

Här presenteras teori för Nätnyttomodellen. I litteratur enligt referenslistan ges en mer utförlig beskrivning av modellen.

9.2.1 Bakgrund

I Sverige ägs och drivs ”stamnätet” (400 och 220 kV) av Svenska Kraftnät, vilket elektriskt förbinder hela landet. Från stamnätet transformeras elektriciteten först ned till ”regionnät” (20-130 kV) och sedan till lokala eldistributionsnät, som levererar den elektriska energin till slutabonnet (vissa större abonnenter får elektricitet direkt från regionnäten). Regionnäten och de lokala distributionsnäten ägs och drivs som naturliga monopol av olika eldistributionsbolag. Monopolen regleras och kontrolleras av *Energimarknadsinspektionen* (EMI). Tidigare byggde regleringen på företagets omkostnader och en genomsnittlig vinst. Då myndigheten ansåg att en sådan regleringsmetod hade brister, påbörjades utvecklingen av en ny regleringsmetod 1998: *Nätnyttomodellen* (NNM). Grundidén var att tarifferna skulle sättas efter prestation, inte efter faktisk kostnad, vilket i praktiken kan leda till såväl högre intäkt som ren förlust för de granskade eldistributionsbolagen. Parallellt med framtagandet av NNM har ellagen ändrats. Myndighetens granskning sker årligen och första granskningen med avseende på den nya modellen skedde under 2005, baserad på 2003 års inrapporterad information, inlämnad av eldistributionsbolagen under 2004. Data om systemets noder (de data som myndigheten har definierat som objektiva) rapporteras årligen in till EMI tillsammans med avbrottsstatistik (SAIDI [h fel/år och kund] och SAIFI [antal fel/år och kund]). ”Objektivt” har av myndigheten tolkats och definierats som de omständigheter eldistributionsbolaget inte kan påverka. Enligt ellagen [Ellag (1997:857)] skall tarifferna vara objektiva och icke-diskriminerande och i 4 kapitlet 1 § [Lag(2005:404)] står det bland annat: ”Vid utformandet av nättariffer för överföring av el skall särskilt beaktas antalet anslutningspunkter, anslutningspunkternas geografiska läge, mängden överförd energi och abonnerad effekt och kostnaderna för överliggande nät samt kvaliteten på överföringen av el.” [1][2][5][6][7]

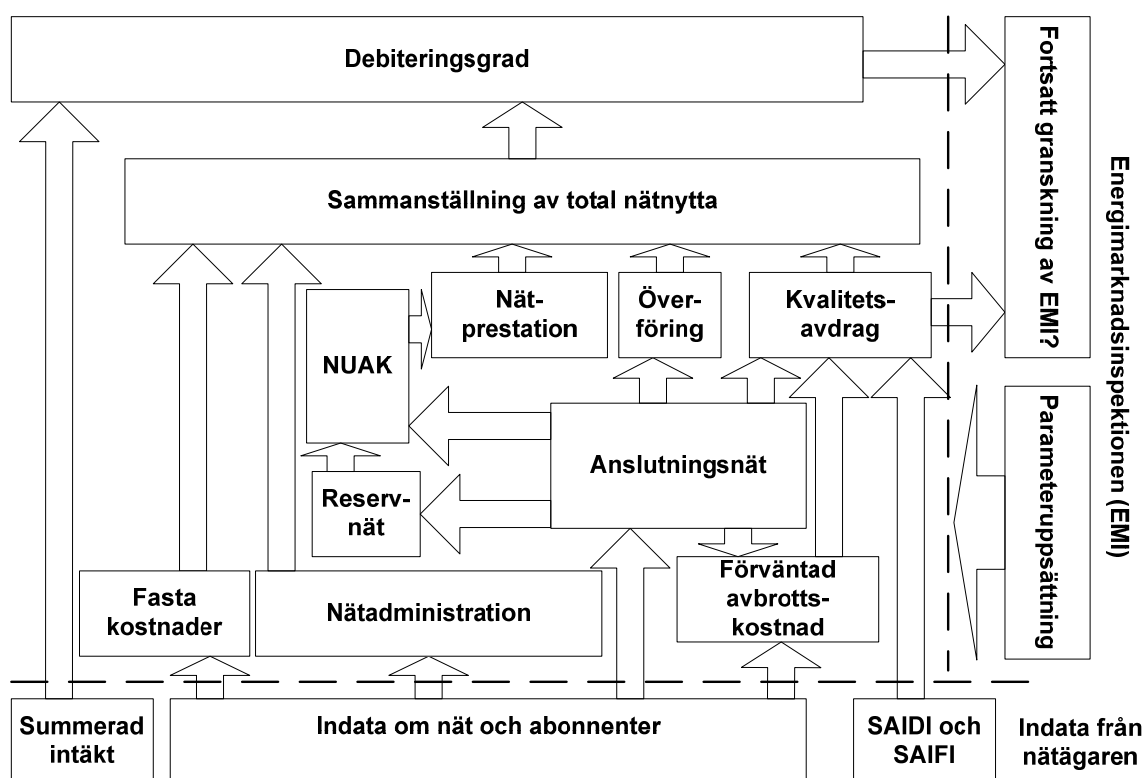
NNM bygger upp ett radiellt artificiellt referensnät med utgångspunkt från bl.a. abonnenternas koordinater och förbrukade energi. Reservkapacitet (redundans) motsvarande vad abonnenterna uppskattas vilja betala för, adderas till det radiella referensnätet. Kostnaden för att effektivt driva det framtagna referensnätet, inklusive redundans beräknas. Ett eventuellt kvalitetsavdrag subtraheras sedan; ett avdrag som utgår om den beräknade avbrottskostnaden är högre för det verkliga nätet, än för referensnätet. Den beräknade kostnaden för att driva nätet minus ett eventuellt kvalitetsavdrag, den så kallade *nätnyttan*, jämföres sedan med hur mycket abonnenterna har betalat eldistributionsbolaget under granskningsåret enligt Ekvation 1 – detta ger en *debiteringsgrad*. [1][2][5][6][7]

I nuvarande form matas inrapporterad informationen in i ett datorprogram – ”Netben” – som bl.a. tar fram referensnät, *debiteringsgrad*, *nätnytta* och *kvalitetsavdrag*. Ytterligare två utdata från Netben som nämns i denna rapport ges av: täthet [m/abonnet] och nuanskaffningsvärde (NUAK) [SEK]. Täthet avser det radiella anslutningsnätets ledningslängd per abonnet (inte att förväxla med det verkliga nätet ledningslängd) och är indata till flera av NNM:s algoritmer.

9.2.2 Grundläggande helhetsbild av modellen

Det är viktigt att understryka att flera analyser som beskrivs i litteratur om NNM inte görs för varje företag och inte heller för varje år. Dessa har gjorts för testsystem under NNM:s utvecklingsfas, vars resultat sedan utmyntat i schablonfunktioner som idag används av NNM:s nuvarande algoritmer [3]. Figur 19 illustrerar hur NNM fungerar och används idag. Flera algoritmer använder abonnenttätthet (ledningslängd/abbonenter) som indata och det är inte alltid självklart vilken tätheten som används, då olika algoritmer använder tätheter (exempelvis vilken ledningslängd som tas med).

Nätnyttomodellen



Figur 19 – Hur NNM fungerar och används

Indata (se Figur 19, "Indata från nätägaren" och Parameteruppsättning under "EMI"): Summerad intäkt, är direkt indata till Ekvation 1. SAIDI och SAIFI, dels för aviserade, dels för oaviserade avbrott under aktuellt år, är direkt indata till beräkningsalgoritm för kvalitetsavdrag. Data från nätägaren som är fasta avgifter (t.ex. till myndighet och överliggande nät) läggs direkt på *nätnyttan*. Andra indata (abbonentantal), används direkt i beräkningen av *nätnytta*, exempelvis kostnad för nätadministration. I övrigt används nätägarens indata (uttagskoordinater, gränspunkter och produktionsanläggningar) som indata till algoritm för att skapa anslutningsnät. Utöver detta styrs modellen av ett antal parametrar som uppdateras årligen av EMI [8]. En del av parametrarna definierar olika modellegenskaper, till exempel schablonfunktionernas egenskaper och dessa kommer troligtvis inte ändras så mycket i framtiden så länge NNM anses fungera väl, emedan andra påverkas av samhället och ändras årligen, exempelvis elpris och räntor. [2][5]

Nätnyttomodellen (se Figur 19): En algoritm skapar ett radiellt referensnät (anslutningsnät). Referensnätet får extrakomponenter adderade till sig från schablonfunktioner för att kompensera för redundans (reservnät); tillsammans ger detta ett fiktivt NUA, som sedan

ligger till grund för kapitalkostnaderna i *nätnyttan*. Abonnenttätheten i anslutningsnätet är även direkt indata till andra delar av beräkningen av *nätnyttan*, exempelvis den del som utgörs av överföring. Det radiella nätets abonnenttäthet används även som indata till schablonfunktionen som beräknar en förväntad avbrottskostnad. [2][5]

Beräkningsalgoritmen för kvalitetsavdrag omvandlar inrapporterad SAIDI och SAIFI till en avbrottskostnad genom att använda schablonfunktioner (vilka är baserade på anslutningsnätets täthet). Detta tillsammans med den förväntade avbrottskostnaden ger ett kvalitetsavdrag som är indata till Ekvation 1. Kvalitetsavdraget har ett maxvärde som motsvarar värdet på kompensation för redundans. [2][5]

Användning av utdata (se Figur 19): EMI får välja ut företag för tillsyn av nättariff oavsett *debiteringsgrad* (exempelvis kvalitetsparametern eller andra aspekter än NNM:s resultat kan väga in i bedömningen) [7]. NNM anses av EMI vara ett viktigt och primärt verktyg i myndighetens tillsyn framöver [7]. I praktiken har *debiteringsgraden* varit den avgörande faktorn så här långt i tillsynsarbetet sedan NNM introducerades.

9.2.3 Nätnytta

Nätnyttan har enheten svenska kronor (SEK) och beräknas årligen för varje eldistributionsbolag. *Nätnytta* är indata till Ekvation 1. *Nätnyttan* kan delas in i följande fem delar:

- 1) *Nätprestation*, som i sin tur kan delas upp i; ”Kapitalkostnader” och ”Drift och underhåll” samt i ”reservkapacitet”. Dessa beror på det framräknade anslutningsnätets struktur och kundtätthet samt antagna nyckeltal (exempelvis ränta). Hur mycket reservkapacitet nätet skall ha, det så kallade reservnätet, uttryckt i extra ledningslängd och reservtransformatorer bestäms av schablonfunktioner som till stor del bygger på underliggande simuleringar. Anslutningsnät och reservnät utgör tillsammans ett referensnät. Som utdata ger NNM ett nyanskningsvärde (NUAK) för hela referensnätet och utifrån given avskrivningstid och total ränta, beräknas en årlig kapitalkostnad för nätet som dels består av räntekostnad, dels av avskrivningar under året (nätets värdeminskning). I dessa beräkningar ingår flera parametrar [8] som EMI måste göra antaganden om: riskfri ränta, riskpremie, premie aktieägarna förväntas kräva och förhållandet mellan eget och lånat kapital. Det är här ersättning för förväntad vinst finns med. Drift- och underhållskostnaderna sätts till en bestämd procentsats av respektive dels (exempelvis ledning eller transformator) uppskattade kapitalkostnad. Beroende på vilken del som avses variera denna procentsats från 1 till 2 %. [5][7]
- 2) *Överföring* (d.v.s. nätförluster): Bestäms av en schablonfunktion som beror på anslutningsnätets täthet. Inga förlustberäkningar görs. Priset på elektriciteten baseras bland annat på terminspriser på Nordpool [5]
- 3) *Nätadministration*: En kostnad per kund har antagits enligt schablonvärden per nätnivå [5][7].
- 4) *Fasta kostnader*: Bygger på faktiska utgifter för företaget, t.ex. ersättning till producenter i området, avgifter till överliggande nät och myndighetsavgifter. [5][7]
- 5) *Kvalitetsavdrag*: Beskrivs i *avsnitt 9.2.5*.

9.2.4 Referensnät

Algoritm för att ta fram referensnät, beskrivs inte i denna rapport, eftersom det har gjorts i tidigare känslighetsanalys av NNM [1]. Val av dessa algoritmer är enligt [1], en starkt bidragande orsak till känslighet för små indataförändringar. NNM skapar ett radiellt nät som *nätnyttan* till stor del sedan bygger på, det så kallade *anslutningsnätet*. Detta görs för fyra nätnivåer enligt [1][5]:

- Nätnivå 1 [0,4 kV]: Noder mellan 0,0 och 1,0 kV hamnar på denna nätnivå i NNM:s referensnät.
- Nätnivå 2 [10 kV]: Noder mellan 1,1 och 25,0 kV hamnar på denna nätnivå i NNM:s referensnät.
- Nätnivå 3 [40 kV]: Noder mellan 25,1 och 60,0 kV hamnar på denna nätnivå i NNM:s referensnät.
- Nätnivå 4 [135 kV]: Noder över 60,0 kV hamnar på denna nätnivå i NNM:s referensnät.

Det totala referensnätet erhåller ingen redundansstruktur; den totala radiella ledningslängden (anslutningsnätet) adderas x % längre ledningslängd och y antal reservtransformatorer. NNM redovisar inte hur denna redundans i praktiken fördelas i referensnätet. Dessa s.k. extrakomponenter ger företaget rätt att ta betalt för en viss mängd redundans genom att de höjer nätets totala NUAK, som i sin tur bidrar till att höja *nätnyttan*. Figur 5 ger ett exempel hur NNM:s beräkningsprogram Netben illustrerar det radiella anslutningsnätet.

9.2.5 Beräkning av kvalitetsavdrag

Ett kvalitetsavdrag beräknas i NNM enligt följande:

$$K_{\text{kvalitetsavdrag}} = \begin{cases} 0, & \text{om } [K_{\text{rapporterad}} - K_{\text{förväntad}}] \leq 0 \\ K_{\text{rapporterad}} - K_{\text{förväntad}}, & \text{om } 0 \leq [K_{\text{rapporterad}} - K_{\text{förväntad}}] \leq K_{\text{max}} \\ K_{\text{max}}, & \text{om } [K_{\text{rapporterad}} - K_{\text{förväntad}}] \geq K_{\text{max}} \end{cases}$$

Där $K_{\text{rapporterad}}$ är verklig avbrottskostnad byggd på rapporterad erfarenhetsdata, $K_{\text{förväntad}}$ är förväntad avbrottskostnad enligt schablonfunktion i NNM och K_{max} ett tak i modellen som motsvaras av redundanställagg.

Ekvation 13 – Beräkning av kvalitetsavdrag [2][6]

För att bestämma ett eventuellt *kvalitetsavdrag* behöver *verklig avbrottskostnad* ($K_{\text{rapporterad}}$) respektive *förväntad avbrottskostnad* ($K_{\text{förväntad}}$) bestämmas.

Verklig avbrottskostnad ($K_{\text{rapporterad}}$) beräknas utifrån inrapporterad avbrottsstatistik enligt:

$$K_{\text{rapporterad}} = \frac{E}{8760} * \sum_{i=1}^2 (x_i * SAIDI_i + y_i * SAIFI_i)$$

Där E är total levererad energi per år [kWh], 8760 [h] antalet timmar per år, index i=1 står för aviserade avbrott och index i=2 står för oaviserade avbrott. SAIFI_i [fel/år] är genomsnittligt antal avbrott (för avbrottskategori i) per abonnent och år. SAIDI_i [h/år] är genomsnittligt antal timmar avbrott (för avbrottskategori i) per abonnent och år. x_i och y_i definieras i Tabell 63.

Ekvation 14 – Beräkning av verklig avbrottskostnad

Avbrottskostnaden beräknas med schablonfunktioner, dels för oaviserade och dels för aviserade avbrott och adderas sedan ihop till en total avbrottskostnad enligt Ekvation 14. x_i och y_i är oberoende av drabbade abonnenters storlek och kategori. [2][3][6]

Tabell 63 – Exempel på rapporterade avbrottskostnader[2][6]

Täthet [m per abbonent]	Fast kostnad y_i , [SEK/kW och avbrott]		Rörlig kostnad x_i , [SEK/kWh och avbrott]	
	Aviserade avbrott (y_1)	Oaviserade avbrott (y_2)	Aviserade avbrott (x_1)	Oaviserade avbrott (x_2)
10	ca 5	ca 22	ca 81	ca 117
50	ca 4	ca 20	ca 62	ca 91
100	ca 2	ca 18	ca 50	ca 72
300	ca 2	ca 18	ca 48	ca 71

Både *verklig avbrottskostnad* och *förväntad avbrottskostnad* utgår från en konsumentanalys från Svensk Energi [2]. Exempel på schablonvärden att sätta in i Ekvation 14 för verklig avbrottskostnad ges i Tabell 63. Beräkningar av förväntad avbrottskostnad görs i ett steg från en schablonfunktion. Beräkningen har förenklats till en funktion, som givet kundtäthet ger en förväntad avbrottskostnad per levererad kWh och nätnivå (inklusive både den för aviserade och oaviserade avbrott). Det kan tyckas märkligt med en kostnad per levererad kWh, men omvänt kan detta förklaras med att ett nät som levererar mycket energi kan tillåtas mer icke-

levererad energi än ett nät som levererar mindre energi. Hur stor andel av förväntad avbrottskostnad som kommer från SAIDI, SAIFI, aviserade avbrott eller oaviserade avbrott går icke att utläsa, men är samtidigt ointressant ur NNM:s synvinkel – NNM:s kvalitetsavdrag baseras blott på avbrottskostnader, inte på vad som ligger bakom dem. [2][3][6]

Tabell 64 – Exempel på förväntad avbrottskostnad [2][6]

Kundtäthet [m/abonnent]	Nätnivå 1 [öre/kWh]	Nätnivå 2 [öre/kWh]	Nätnivå 3 och 4 [öre/kWh]
1	ca 0,30	ca 0,11	0,00
100	ca 0,32	ca 0,17	0,00
200	ca 0,40	ca 0,22	0,00
350	ca 0,45	ca 0,28	0,00

De flesta abonnenter befinner sig på nätnivå 1 (lågspänning), men större abonnenter, främst industrier finns ofta på nätnivå 2. Det är få abonnenter på nätnivå 3 och 4. Abonnenter på nätnivå 3 och 4 antas generera 0 öre/kWh i förväntad avbrottskostnad. [2][3][6]

